



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur,
trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

KLIMATANPASSNING AV MALMÖS FRAMTIDA TRÄDBESTÅND

En studie av tillämpade forskningsmetoder i syfte att utveckla klimatanpassningen av Malmös urbana trädbestånd



MATILDA HELLMAN & MAJA SKOG

SJÄLVSTÄNDIGT ARBETE I LANDSKAPSARKITEKTUR / 30 HP

LANDSKAPSARKITEKTPROGRAMMET

ALNARP 2020

KLIMATANPASSNING AV MALMÖS FRAMTIDA TRÄDBESTÅND

En studie av tillämpade forskningsmetoder i syfte att utveckla klimatanpassningen av Malmös urbana trädbestånd

Climate adaptation of Malmö's urban forest

- A study of applied research methods with the aim of developing the climate adaptation of Malmö's urban tree population

Matilda Hellman & Maja Skog

Handledare: Anna Sunding, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Bitr. handledare: Johan Östberg, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Thomas B. Randrup, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Bitr. examinator: Henrik Sjöman, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: A2E

Kurstitel: Självständigt arbete i landskapsarkitektur

Kurskod: EX0846

Program/utbildning: Landskapsarkitektprogrammet

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2020

Omslagsbild: Matilda Hellman

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Foto och illustrationer av författarna om inget annat anges.

Nyckelord: Klimatanpassning, stadsträd, resiliens, klimatförändringar, urbana trädbestånd, Malmö

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för Landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

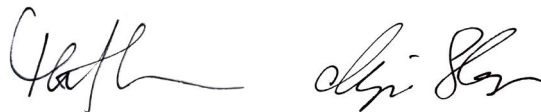
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

FÖRORD

Detta examensarbete i landskapsarkitektur vid Landskapsarkitektprogrammet, SLU Alnarp, är ett resultat av en gemensam nyfikenhet på hur vi i vår framtida yrkesroll skulle kunna ta oss an kommande problematik kopplat till klimatförändringar med hjälp av stadsträd. Personliga intressen kring träd och växtlighet i kombination med vad klimatförändringarna kommer få för konsekvenser för dessa, har motiverat oss till att undersöka möjligheter för innovativa framtida forskningsmetoder som kan ge upphov till nya, mer hållbara lösningar. Vi har med arbetet utökat vår förståelse för klimatets påverkan på stadens träd, och önskar att undersöka nya sätt att planera med dem.

Tidigt i processen kom vi i kontakt med Malmö stad, som visade stort intresse för vårt val av ämne. Detta var en stor anledning till varför vår uppsats fick ett mer specifikt fokus mot utvecklingen av just Malmös urbana trädbestånd. Vi hade ett möte med Larsola Bromell, landskapsarkitekt på gatukontoret i Malmö, som gav oss information kring hur Malmö stad i dagsläget arbetar med sitt trädbestånd, samt tillgång till Malmö stads trädatabas. Vi vill tacka Larsola för att han tog sig tid att engagera sig i vår uppsats.

Vi vill även rikta ett stort tack till våra engagerade handledare Anna Sunding och Johan Östberg, som bidragit med mycket kunskap och idéer angående ämnet, samt stöd, råd och hjälp med struktur i uppsatsskrivandet. Utan er hade det helt ärligt inte blivit någon uppsats!



Matilda Hellman och Maja Skog
20 mars 2020, Lindome

ABSTRACT

Climate change, such as global warming, is affecting and changing the conditions for life on earth. The natural distribution of trees changes while patterns of temperature and rainfall change. Even in the in urban environments, the situation for the vegetation is highly affected. In this thesis, environmental parameters related to future climate change and their relevance in a Swedish context linked to the resilience and survival of urban tree populations are studied.

Malmö is in many ways prominent in the Nordic region regarding climate adaptation of its urban tree population, particularly regarding the progressive work and desire to create a wider variety of tree species in urban environments. At the same time, there are still flaws and weaknesses within the tree population that have become clearer since the city already have been experiencing how climate change has affected the urban environments and the green infrastructure. The consequences of the Dutch Elm disease and the extreme heat waves in the summer of 2018 are noticable signs of this. With this in mind, it is interesting to investigate the conditions for applying new research methods with the aim of developing the climate adaptation of Malmö's urban tree population even further.

The method is based on a literature study that covers urban climatic problems, specifically focusing on on how urban trees are and will be affected by these factors. This has been combined with a study of applied research methods used in studies aiming to investigate the resilience of various urban tree populations towards climate change. Some of these methods have also provided actual tools to improve the future prospects of the urban forest's. This information is then linked and compared to Malmö's climatic problems and prerequisites.

The collection of material started with the report "*The city of Melbourne's future urban forest*" (Kendal & Baumann 2016), whose methodology and conclusions have been studied and compared in relation to other, similar research conducted within the subject. This provided a broader picture regarding different cities' climatic issues and approaches.

In a compilation, similarities and differences in the methods used in various studies are identified. This compilation also addresses critical aspects and climate parameters, which affect the well-being and survival of urban trees. These critical aspects and climate parameters were identified through the initial literature study. When compared, it becomes clear that

different methods generate results with a different degree of detail and extent. The mainly quantitative methods, which examines a high number of species, but few climate parameters, generally did not generate the same level of detail in the results. The mainly qualitative methods, however, usually required a certain quantitative basis, which was combined with more (often locally affected) climate parameters or critical aspects.

Finally, this thesis addresses whether the explored methods are applicable in Malmö, based on whether Malmö holds the data and resources required to carry out studies according to each method. The methods with the most disserted parameters and a higher complexity generally required a larger base of information and more resources in terms of both time and expertise. This led to a result with higher detail and clarifying information compared to the studies that used the "coarser" methods, which resulted in more generalizing conclusions.

SAMMANFATTNING

Klimatförändringar såsom den globala uppvärmningen påverkar och förändrar förutsättningarna för livet på jorden. Den naturliga distributionen av träd förändras i och med att mönster för temperatur och nederbörd skiftar, men även i urbana miljöer påverkas vegetationens situation. I denna uppsats studeras miljöparametrar relaterade till framtida klimatförändringar och deras relevans i en svensk kontext, kopplat till urbana trädbestånds resiliens och fortlevnad.

Malmö är på många sätt framstående i Norden gällande arbetet med klimatanpassning av sitt urbana trädbestånd, framförallt avseende det progressiva arbetet med, samt viljan att skapa en bredare mångfald av trädarter i stadsmiljö. Samtidigt finns fortfarande brister och svagheter i trädbeståndet. Staden har bland annat fått erfara hur klimatförändringarna påverkat de urbana miljöerna och grönstrukturen, exempelvis genom konsekvenserna av almsjukan och extremvärmen sommaren 2018. I och med detta är det intressant att undersöka förutsättningarna för att tillämpa och utveckla forskningsmetoder med syftet att klimatanpassa dessa urbana miljöer och grönstrukturer ytterligare i Malmö.

Uppsatsens metod bygger på en litteraturstudie som avhandlar urban klimatproblematik, med en specifik inriktning på hur de urbana träden påverkas och kommer kunna påverkas av denna problematik. Detta har kombinerats med en jämförelse av olika forskningsmetoder som använts i studier som syftat till att undersöka olika urbana trädbestånds resiliens mot klimatförändringar, samt i vissa fall även komma med konkreta verktyg för att förbättra beståndens framtidsutsikter. Det hela kopplas sedan till Malmös problematik och förutsättningar.

Materialinsamlingen har tagit avstamp i rapporten *“The city of Melbourne’s future urban forest”* (Kendal & Baumann 2016), vars metodik och slutsatser har studerats för att sedan sättas i relation till annan, liknande forskning som utförts inom ämnet. På så sätt har en bredare bild av hur olika städers problematik och arbetssätt ser ut uppnåtts.

I en sammanställning pekas likheter och skillnader i de olika studiernas metoder ut. I denna sammanställning berörs även kritiska aspekter och klimatparametrar, vilka påverkar urbana trädets välmående och fortlevnad. Dessa kritiska aspekter och klimatparametrar identifierades genom den inledande litteraturstudien. På detta sätt blir det tydligt att olika metoder genererar resultat med olika detaljeringsgrad och omfattning. De i

huvudsak kvantitativa metoderna, som avhandlar många arter men få klimatparametrar, genererade generellt inte lika detaljerade resultat. De i huvudsak kvalitativa metoderna krävde dock som regel ett visst kvantitativt underlag, som sedan kunde byggas på med fler (ofta lokalt påverkande) klimatparametrar eller kritiska aspekter.

Slutligen avhandlar denna uppsats huruvida de undersökta metoderna är applicerbara i Malmö, baserat på om Malmö innehar det underlag och de resurser som krävs för att utföra studier enligt respektive metod. De metoder med flest avhandlade parametrar och en högre komplexitet behövde generellt ett större underlag och mer resurser i form av både tid och expertis. Detta mynnade i ett resultat med högre detaljrikedom och klagörande information jämfört med de studier som använt sig av desto "grövre" metoder, vilket resulterat i mer generaliserande slutsatser.

Nyckelord: Klimatanpassning, stadsträd, resiliens, klimatförändringar, urbana trädbestånd, Malmö

INNEHÅLL

1. INTRODUKTION	1
Inledning	2
Bakgrund	4
Mål & frågeställning	6
Syfte	7
Metod & Material	8
Avgränsningar	10
Begreppsförteckning	12
 2. LITTERATURSTUDIE	 15
2.1 Klimatförändringar och dess påverkan på urbana miljöer	16
2.1.1 Klimatmodeller och utsläppsscenarioer	18
2.1.2 Klimatscenarioer för Sverige - Sveriges framtida klimat	19
2.1.3 Klimatförändringar i Malmö	21
2.1.4 Pågående klimatanpassning av Malmös trädbestånd	22
2.2 Träden som klimatreglerare	24
2.2.1 Temperatur	26
2.2.2 Nederbörd	28
2.2.3 Luftkvalité	30
2.3 Klimatets påverkan på träden	32
2.3.1 Årstidsväxlingarnas påverkan på växtligheten	33
2.3.2 Extrema väderförhållanden	34
2.3.3 Föroreningar	36
2.3.4 Skadedjur och sjukdomar	38
2.3.5 Övriga faktorer som påverkar trädens överlevnad i urbana miljöer	38
2.4 Verktyg för klimatanpassning av urbana trädbestånd	40
2.4.1 Trädinventeringar, grönstrukturplaner & trädplaner	40
2.4.2 Strategier och målsättningar	41
2.5 Forskningsmetoder för klimatanpassning av urbana trädbestånd	46
2.5.1 Climate envelopes	46
2.5.2 Space-for-time	50
2.5.3 Fältstudie	50
2.5.4 Sårbarhetsstudie	52
2.5.5 Jämförelse av metoder	53

3. RESULTAT	57
3.1 Innebörden av klimatförändringarna för Malmös trädbestånd	58
3.2 Metodernas applicerbarhet i Malmö	59
3.2.1 Underlag för möjliggörande av metodapplicering	61
 4. DISKUSSION	 65
Slutsats	74
Metoddiskussion	75
Referenser	79

01.

INTRODUKTION

INLEDNING

Klimatförändringar har de senaste decennierna kommit att bli ett reellt problem, då forskare med allt större säkerhet kunnat peka ut extrema väderhändelser och katastrofer som en konsekvens av antropogena växthusgasutsläpp (IPCC 2013). Allt fler oförutsedda händelser utmanar livsmiljöer runt om på jordklotet och prognosen gör gällande att de stormar, värmeböljor och skogsbränder som syns idag bara är ett smakprov på vad som komma skall (Butler 2018). Urbana, tätbefolkade miljöer med hög densitet av byggnader och hårdgjorda miljöer, påverkas ofta kraftigt av klimatförändringarna, där både människor och vegetation utmanas av extrema temperaturer, torka, översvämningar och föroreningar (Andersson-Sköld et al. 2015; IPCC 2013). En populär lösning för att mildra problemen är att öka antalet träd och därmed höja krontäckningsgraden inom dessa områden, då det visat sig att vegetation och då främst träd har en positiv, dämpande effekt på många av de negativa konsekvenserna från klimatförändringarna (Ordóñez Barona 2015). Verklighetens komplexitet överskrider dock många gånger det som ser lovande ut på pappret. Även trädens hälsa påverkas negativt av de extrema miljöerna och utmaningen inför framtiden vidgas till att innefatta inte bara ett utökat trädbestånd i urbana miljöer, utan dessutom ett resilient sådant, med vitala träd som faktiskt kan leverera de nyttoaspekter som efterfrågas (Brandt et al. 2016).

Mycket av den forskning som hittills bedrivits angående urbana trädbestånd och klimatförändringar är fortfarande väldigt färsk och berör oftast hur urbana trädbestånd kan vara ett verktyg för att mildra effekterna och anpassa sig till klimatförändringar, snarare än hur de urbana trädbestånden kommer påverkas av dessa förändringar (Brandt et al. 2016). Ordóñez Barona (2015) skriver att många städers lösningar har varit att plantera fler träd för att på så sätt sänka temperaturen och öka luftfuktigheten i de urbana landskapen, något som kan komma både stadens invånare och vegetationen till gagn genom olika positiva hälsoaspekter (Bolund & Hunhammar 1999; Salmond et al. 2016; Hardin & Jensen 2007; Matzarakis et al. 2007). Utan vidare hänsyn till vilka trädarter som planteras riskerar dock denna strategi att generera en allt annat än hållbar klimatlösning, då missanpassade träd behöver mer skötsel, omsorg och resurser för att överleva och därmed kunna skänka de värdefulla klimatreglerande aspekter som efterfrågas (Sjöman et al. 2012a).

Bristen på omfattande studier över vad klimatförändringarna kommer att innebära för de urbana trädbestånden har gjort att forskning som utförts på rurala skogssystem emellanåt fått ligga till grund för riskbedömningen även av de urbana bestånden (Ordóñez Barona 2015). Detta är dock något som inte nödvändigtvis ger en korrekt bild av hur klimatförändringar kommer påverka de urbana bestånden, då rurala och urbana system oftast skiljer sig kraftigt åt. Den urbana värmeö-effekten påverkar till exempel kraftigt de urbana systemen, såväl som skötsel, uppbyggnad och härkomst av växtmaterialet. Skillnader som alla kan tänkas påverka trädens vitalitet och resiliens (Brandt et al. 2016; Ordóñez Barona 2015; McPherson et al. 2018). Klimatförändringarnas effekter på stadsträd brukar därutöver vara starkt modifierade av antropogena influenser (Yang 2009). Därför efterfrågas fler studier på specifikt urbana bestånd gällande konsekvenser av klimatförändringar, inte minst på en lokal och regional nivå, för att nya handlingsplaner och skötselplaner som adresserar det stundande hotet mot de urbana trädbestånden från klimatförändringar skall kunna tas fram (Ordóñez Barona 2015). På grund av träds långa livsspann och det faktum att de träd som planteras idag skall tänkas kunna leva i cirka hundra år, krävs information om vilka arter som kommer kunna klara av inträdet i ett förändrat klimat. Fortsatt plantering av arter med sämre anpassningsförmåga inför det framtida klimatet kommer få oönskade resultat som sträcker sig över flera decennier (Yang 2009).

I den här uppsatsen studeras en del av den forskning som ligger till grund för aktuella metoder och skötseltekniker i utvecklingen av urbana trädbestånds resiliens gentemot klimatförändringar på olika platser i världen. De metoder som använts granskas för att uppskatta huruvida de kan tänkas vara användbara eller inspirerande i arbetet med att utveckla klimatanpassningen av Malmös urbana trädbestånd.

BAKGRUND

Idag bor över hälften av världens befolkning i städer (IVA 2017; Breuste et al. 2015), städer som ständigt växer, utvecklas och förändras. 70 procent av befolkningsökningen i Sverige äger rum inom de tre storstadsregionerna (Stockholm, Malmö och Göteborg), vilket leder till att dessa regioner bär ett tungt ansvar när det kommer till att gå i bränschen för utveckla sina urbana miljöer på ett hållbart sätt, både utifrån ett socialt och ekologiskt- och miljömässigt perspektiv (Boverket u.å). En inte sällan underskattad del i att uppnå en hållbar stadsutveckling är den så kallade gröna infrastrukturen. Fungerande ekosystem, i form av parker, trädgårdar, gatuträd och planteringar, inbakade i det hektiska stadslandskapet är en förutsättning för invånarnas hälsa och välmående (Breuste et al. 2015). Denna gröna infrastruktur skänker fysiska och psykiska ekosystemtjänster såsom reglering av UHI (värmeö-effekten), luftrening, fördröjning, rening- och hantering av dagvatten. Den bidrar med platser för rekreation och återhämtning, samt agerar livsmiljö och erbjuder spridningsvägar för olika insekter, djur och andra organismer, en viktig förutsättning för biologisk mångfald. Det föränderliga urbana landskapet innebär dock många gånger tvivelaktiga förutsättningar för dessa ekosystem, som behöver vara vitala, samt kunna utvecklas och mogna ordentligt för att på ett hållbart sätt kunna skänka dessa tjänster till staden och dess invånare (Breuste et al. 2015).

En viktig del av den urbana grönstrukturen är stadsträden, vars gröna, levande gestalter inte bara skänker arkitektoniska och estetiska värden som kontrast mot de hårdgjorda miljöerna i stadens olika rum, utan även rent fysiska, miljömässiga fördelar. Ett vitalt stadsträd med hög andel bladmassa kan filtrera och rena luften från avgaser på ett mycket mer effektivt sätt än mindre buskar och annan, lägre vegetation (Bolund & Hunhammar 1999). Dessutom skänker ett träd skugga, vindskydd och ökar luftfuktigheten (genom evapotranspiration), något som i hög grad kan påverka temperaturer och reglera mikroklimatet i miljöerna mellan (och även till viss del inuti) huskropparna i städerna (Salmond et al. 2016; Bolund & Hunhammar 1999). Förekomsten av träd och annan grönstruktur har en bevisat positiv effekt på människors fysiska och psykiska välmående och närheten till dessa faciliteter påpekas ofta vara en viktig del i främjandet av effektivitet, kreativitet, återhämtning och allmänt välmående hos människor som bor och arbetar i en urban miljö (Breuste et al. 2015; Grahn & Stigsdotter 2003). Studier visar att det ekonomiska värdet hos fastigheter stiger då närmiljön innehåller vegetativ landskapsdesign och träd (Bolund & Hunhammar 1999; Foster et al. 2011).

I den allt tätare staden ställs redan idag höga krav på träden och framtida klimatförändringar kommer påverka dessa miljöer ytterligare. Extrema ståndorter kommer bli än mer extrema, inte minst med avseende på temperaturhöjningar och torrperioder (Belusic et al. 2019). Träd som inte är anpassade till ståndorten, eller är hårt ansatta av slitage, värme, skadeinsekter, torka eller sjukdomar, utsätts i högre grad för stress. Dessa träd blir således mer sårbara, kräver mer och bättre underhåll och genererar inte de eftersträvade ekosystemtjänsterna lika framgångsrikt som friska individer (Laćan & McBride 2008). I och med detta blir frågan om trädbeståndens resiliens gentemot yttre förändringar i högsta grad relevant. För att göra det möjligt att säkra ett hållbart och välmående urbant trädbestånd, anpassat för framtida scenarion, krävs omfattande undersökningar och analyser av trädbeståndens förväntade utveckling. Utifrån detta kan sedan åtgärder vidtas för att möta framtidens utmaningar på bästa möjliga sätt.

Den forskning som bedrivs på området klimatförändringar och urbana trädbestånd världen över bygger på olika tillvägagångssätt. Olika metoder för att undersöka och kartlägga trädens resiliens har använts, beroende på var i världen de olika studierna utförts, omfattning och finansiering, samt vilken data och information forskarna haft tillgång till. Gemensamt för studierna som lyfts i denna uppsats är dock att de alla i någon utsträckning avhandlar medeltemperatur och temperaturförändringar till följd av antropogena utsläpp av växthusgaser till atmosfären. En anledning till detta är att det generellt finns god tillgång till klimatmodeller gällande just temperaturförändringar, samt att tillförlitligheten i denna data anses vara betydligt bättre än exempelvis mönster för nederbörd, extrema väderevent eller vind (Kendal & Baumann 2016). Enligt vissa forskare kan även medeltemperatur anses ge god indikation på trädarters naturliga utbredning och därför skulle kunna fungera som en första ledtråd i sökandet efter relevanta arter för ett visst klimat (Kendal et al. 2012). Emellertid blir denna jämförelse av naturlig kontra urban miljö lätt missvisande om inte fler parametrar vägs in. Det urbana landskapet är extremt komplext och skiljer sig samtidigt starkt från naturliga, rurala landskap. Flertalet andra parametrar påverkar många gånger trädens tillvaro mer i dessa landskap än vad den generella medeltemperaturen gör (Deak Sjöman et al. 2015).

En gemensam nämnare för flera av studierna är en vilja att vidga artdiversiteten med för ståndorten bättre anpassat växtmaterial. Detta för att minimera riskerna gällande sjukdomsspridning och annan artspecifik problematik och på så sätt stålsätta trädbestånden för de förändringar som väntar. Artdiversiteten i svenska städers trädbestånd är heller inte tillräckligt hög, vilket innebär att de riskerar att drabbas hårt av framtidens klimatutmaningar (Sjöman et al. 2012b). Större förändringar såsom temperaturhöjningar eller sjukdomsspridning är exempel på händelser som hotar trädens fortlevnad (Yang 2009; Ordóñez Barona 2015). Malmö drabbades hårt under de senaste decennierna då almsjukan slog ut en stor del av stadens trädbestånd (Malmö stad 2005). Samtidigt har Malmö stor potential och är på många sätt ledande i Norden gällande mångfald av trädarter i stadsmiljö (Sjöman et al. 2012b). Det finns inom staden ett stort intresse av att utveckla grönstrukturen och det geografiska läget gör att det finns goda möjligheter för ett stort antal arter att trivas. I och med detta är det intressant att undersöka förutsättningarna för att tillämpa nya forskningsmetoder i Malmö. Forskningsmetoder inspirerade av hittills genomförda studier i andra städer världen över, som syftar till att kartlägga dess urbana trädbestånds resiliens och känslighet inför klimatförändringarna. Målet i en sådan studie skulle vara att kunna förebygga framtida drastiska förluster i trädbeståndet orsakade av dels sjukdomar, men framförallt av komplikationer kopplade till förväntade klimatförändringar såsom förändrade mönster i nederbörd eller medeltemperatur.

MÅL & FRÅGESTÄLLNING

Målet med uppsatsen är att genom en litteratur- och forskningsstudie beskriva och förstå vilken påverkan framtida klimatförändringarna kommer kunna ha på Malmös urbana trädbestånd. Målet är också att genom en litteraturstudie och jämförande analys undersöka olika forskningsmetoders tillämpbarhet vid arbetet med att utveckla klimatanpassningen av Malmös urbana trädbestånd.

Målgruppen för arbetet är i viss utsträckning forskare och studenter vars fokusområde ligger inom utveckling av klimatanpassning av urbana trädbestånd. Samtidigt är innehållet också riktat till planerare och ansvariga för städers klimatanpassning. Detta då uppsatsen kan ge en bild av vilka studier och metoder som bäst berör olika aspekter inom klimatanpassning, samt hur dessa därmed skulle kunna hjälpa till i arbetet med att hantera olika typer av problematik. Det är också tänkt att uppsatsen skall skänka inspiration till hur klimatanpassningsarbetet kan utvecklas vidare, potentiellt genom lokalt förankrade, liknande studier. Arbetet behandlar Malmö stad och dess förutsättningar, men i förlängningen skulle det även kunna ses som relevant för andra svenska kommuner.

Med denna bakgrund har följande frågeställningar undersökts:

- Hur kan Malmö stads urbana trädbestånd komma att påverkas av de beräknade klimatförändringarna?
- Går det att med stöd av andra genomförda studier komma med rekommendationer gällande val av metod vid vidare studier på lokal nivå, i syfte att klimatanpassa Malmös framtida urbana trädbestånd?

SYFTE

Syftet är att få kunskap om vad ett förändrat klimat konkret kommer kunna ha för påverkan på urbana trädbestånd i allmänhet och Malmös i synnerhet. Syftet är också att underbygga och inspirera till vidareutveckling av forskningsmetoder inom klimatanpassning av urbana trädbestånd, samt peka ut kritiska aspekter som bör tas i beaktning vid planering och beslutsfattning.

METOD & MATERIAL

Uppsatsens materialinsamling har tagit avstamp i rapporten “*The city of Melbourne’s future urban forest*” (Kendal & Baumann 2016), vilken vår biträdande handledare Johan Östberg tipsade om, med anledning av sökandet efter avgränsning inom ämnesvalet klimatanpassning av urbana trädbestånd. Till en början fick denna rapport utgöra en mycket stor del av uppsatsens fokus, men i samråd med handledarna vidgades sedermera fokus till att omfatta även andra forskningsrapporter, som använt sig av liknande eller annan metodik i syfte att uppnå liknande mål. I takt med att frågeställning och mål växte fram vidgades sedan sökningen efter relevant material med avstamp i dessa rapporter samt nedan beskrivna sökord. När intressanta artiklar framkommit genom dessa sökord har sedan relaterade artiklar som databasen föreslagit också undersökts. I vissa fall har även intressanta referenser i dessa texter letats upp och använts. På detta vis vidgades sökandet successivt och nya upptäckter ledde vidare till nya, användbara källor.

För att få en bild av vad klimatförändringarna kommer ha för effekter globalt, men framförallt på Malmös stadsklimat, har sökningar genomförts hos svenska och internationella offentliga myndigheter och organisationer, som bedriver internationellt erkänd forskning inom området; likt FN:s klimatpanel IPCC och SMHI. Malmös eget klimatarbete studerades genom stadens offentliga hemsidor och styrdokument, samt genom SMHIs lokala mätstationer, för att på så sätt skapa en bild av i vilken utsträckning det arbete som utförts och utförs i staden möter den problematik som stundar.

Vegetation och urbana trädbestånds betydelse och ekosystemtjänster beskrivs utifrån vetenskapliga källor, litteratur och forskningsrapporter, för att förklara *bakgrunden* till den problematik som ligger till grund för uppsatsens frågeställning, mål och syfte. Vidare har forskning och litteratur inom områdena växtfysiologi, fenologi och klimatförändringarnas påverkan på vegetation i allmänhet och träd i synnerhet studerats för att identifiera vilka utmaningar som behöver hanteras i samband med ett förändrat klimat.

För att skapa en bild av hur situationen ser ut idag studeras problematiken i ett antal olika städer runt om i världen genom olika offentliga forskningsrapporter, strategier och trädinventeringar. Innebörden av fungerande grönstrukturplaner, inventeringsmetoder, artdiversitet, skötsel och planering avhandlas i samma avsnitt med vetenskapliga källor och aktuell forskning som bas.

Olika forskningsprojekt gällande klimatanpassning av urbana trädbestånd har därefter studerats, med ett fokus på studier som använder temperatur och temperaturförändringar som huvudsaklig parameter för att mäta trädbestånds resiliens. Detta för att få en bild av vilka olika metoder som använts, samt hur de olika studierna skiljer sig åt eller relaterar till varandra, men också för att få en förståelse för vilka olika mål och syften som initierat respektive forskningsprojekt. Undersökta studier har valts ut då de berör liknande lokal problematik, trots att de aktuella städerna är belägna utspridda över världen. Den gemensamma faktorn som studierna avhandlar är just temperatur, men i vissa fall även andra parametrar. Urvalet grundade sig i den metod som använts i rapporten "*The city of Melbourne's future urban forest*" (Kendal & Baumann 2016). För att kunna få en tydligare bild av denna omfattande metod (*climate envelope*) har ytterligare en studie med samma metod studerats; Yang (2009). Tre andra metoder, som antingen haft gemensamt mål, bakomliggande problematik eller samma klimatparametrar som grund, men andra tillvägagångssätt, har också jämförts. Dessa urval har skett baserat på att metoderna berör kritiska aspekter gällande trädens framtida fortlevnad, vilka tydliggjorts genom litteraturstudien. Dessa kritiska aspekter är bland andra förvaltning, sjukdomar/skadedjur och extrema väderförhållanden.

Analysen av forskningsstudierna gjordes genom att kritiska aspekter och klimatparametrar som identifierats genom litteraturstudien kartlades baserat på huruvida de berörs i respektive forskningsstudie. Utöver dessa kritiska aspekter kartlades även andra aspekter och parametrar som berörs i de olika studierna, men som inte berörts i större utsträckning i litteraturstudien. Detta för att generera en så tydlig bild som möjligt av skillnaderna och likheterna i de olika studiernas metod, samt betydelsen för dess utfall. Studiernas metoder har också utvärderats utifrån det underlag och de resurser som krävs för att utföra dem och ifall det rör sig om i huvudsak kvalitativ eller kvantitativ forskning. Genom att undersöka Malmös utbud av underlag och resurser som respektive metod kräver för genomförande, ges en grov uppskattning om deras tillämpbarhet. På detta sätt skapas också en viss bild av hur omfattande och krävande (resursmässigt, tidsmässigt, kompetensmässigt) respektive metod skulle vara att genomföra.

Vidare har de undersökta metoderna och litteraturstudien *diskuteras* med utgångspunkt i uppsatsens frågeställningar. Brister och felkällor som dykt upp under arbetets gång, gällande det studerade materialet, men också gällande uppsatsens upplägg, mål, syfte och metod behandlas också i denna diskussion.

Uppsatsen bygger på en litteraturstudie där vetenskapliga artiklar, forskningsrapporter och material från olika offentliga myndigheter och förvaltningar ligger som huvudsaklig bas. Aktuella forskningsrapporter och prognoser underbygger hypotetiska antaganden och vetenskapligt granskat material har prioriterats vid sökandet av information. Det litterära materialet har i stor utsträckning hämtats från olika databaser såsom Elsevier, ScienceDirect, Web of Science, Springer, Google Scholar och ResearchGate. Utöver dessa har sökmotorn Google använts i sökandet efter uppdaterade rapporter om klimatförändringarna, då den senaste forskningen krävs i detta ämne. Av samma anledning har information varit desto mer lättillgänglig via elektroniska källor än via tryckta. Sökord som använts inkluderar *klimatanpassning*, *urbana trädbestånd*, *urbana ekosystem*, *stadsträd*, *klimatförändringar*, *adaptation*, *extreme weather events + effects on trees*, *climate change + vulnerability + trees*, *resilience*, *urban forests*, *climate projections*, *temperature + vegetation*, *heat waves + trees*, *drought* och *future climate*. En del läroböcker från landskapsarkitektprogrammet har även använts. Materialet har varit på svenska och engelska. Trädinventering, rapporter och annan information om Malmös trädbestånd har tillhandahållits från Larsola Bromell (Landskapsarkitekt Malmö stad) och via kommunens egen hemsida. Nationella och internationella myndigheters offentliga rapporter och databaser har använts vid sökandet efter uppgifter om bland annat klimat och klimatförändringar och trädstrategier. Online-databaser, såsom Climate-data.org har använts för att ta fram ytterligare uppgifter om årsmedeltemperatur och klimat. För att kunna ge en så uppdaterad bild av aktuella händelser gällande klimatarbetet i Malmö har även en hel del nyhetsartiklar studerats. Dessa artiklar har hämtats från etablerade och välrenommerade tidningar och sajter, för högsta möjliga autencitet.

AVGRÄNSNINGAR

Eftersom klimatanpassning av urbana trädbestånd är ett ytterst komplext ämne, där många olika parametrar och förutsättningar spelar in och kan komma att påverka resultatet av den forskning som utförs, finns ett behov av att avgränsa och förenkla. Den klimatparameter som framförallt kommer att stå i fokus i denna uppsats är temperatur, såsom medeltem-

peratur, maximum- och minimum-temperatur. Anledningen till detta är att många av de studier som utförts (inom området klimatanpassning av urbana trädbestånd) och som undersöks i denna uppsats använder framförallt denna parameter i sin metodik. Hur temperatur och olika typer av temperaturmätning fungerar som indikator för klimattolerans hos träd har sedermera undersökts och diskuterats. Övriga parametrar, utan direkt koppling till temperatur, men som skulle kunna vara av relevans för trädens välmående och överlevnad, studeras inte lika ingående i detta arbete.

Mjuka värden, såsom de sociala och estetiska aspekter gällande stadens grönsstruktur tas till viss del upp, men ligger inte inom det huvudsakliga ämnet. Dessa aspekter är extra viktiga för identitetsskapande och upplevelsevärden, men har fått mindre fokus då uppsatsen i huvudsak berör de mer fysiska förutsättningarna för de urbana trädbestånden.

Beslutet att fokusera på en svensk stad som potentiellt “appliceringsobjekt” grundar sig i ett behov av att avgränsa omfattningen av uppsatsen, men också i ett behov av att konkretisera dess praktiska tillämpbarhet. Valet av Malmö grundar sig i att staden är en av de städer i Sverige som ligger i absolut framkant både gällande trädinventeringar, men också i sitt arbete med att utveckla ett hållbart och resilient trädbestånd. Malmö är således den stad i Sverige med bäst utsikter att ha tillräckligt med relevant underlag för att en studie skall kunna genomföras där. Detta underlättades ytterligare genom vår personliga kontakt och tillgång till annars inte offentligt tillgänglig trädinventeringsdata.

Denna uppsats kommer enbart fokusera på det trädbestånd som Malmös kommun förvaltar, samt hur klimatanpassningen av detta trädbestånd skulle kunna utvecklas. Privatägda ytor och dess trädbestånd kommer inte vägas in i resultatet.

Då litteratur och forskning kring klimatförändringar ständigt uppdateras med nya rön och fakta har i huvudsak nyare rapporter studerats gällande området klimatförändringar. Detta i en strävan efter att få en så uppdaterad och aktuell bild som möjligt över nuläget och framtida prognoser.

BEGREPPSFÖRTECKNING

ALBEDO - En ytas reflektionsförmåga. Andelen infallande ljus(strålning) som en yta reflekterar tillbaka (det vill säga inte absorberar). Det är starkt beroende av ytans egenskaper, såsom exempelvis vilket material, färg eller struktur den har (Nationalencyklopedin u.å a). Albedo påverkar i sin tur ofta *yttemperaturen*, då en yta med lågt albedo absorberar mer strålning och därmed också generellt blir varmare. Generellt kan sägas att ljusa ytor har en högre albedo än mörka (Naturskyddsföreningen 2017).

FENOLOGI - Begreppet *fenologi* används för att beskriver årligen återkommande företeelser eller processer i naturen och hur dessa påverkar växt- och djurlivets regelbundenhet. Det kan exempelvis gälla tidpunkten för vintervila hos träd eller växter, lövsprickning, blomning eller när det första snötäcket lägger sig (SMHI 2019a).

GENOTYP - en *individ*s genetiskt styrda egenskaper. Detta innefattar hos träd bland annat stamform, sjukdomsresistens, tillväxtsätt, kvistantal och storlek (SKOGEN.se u.å).

HABITAT - Den livsmiljö där en art kan leva (Nationalencyklopedin u.å b).

KLIMATANPASSNING - Åtgärder med syftet att skydda människors liv och hälsa, egendom samt miljön från negativa konsekvenser som förändringar i klimatet orsakar på mark, vatten eller bebyggelse (Naturvårdsverket 2020).

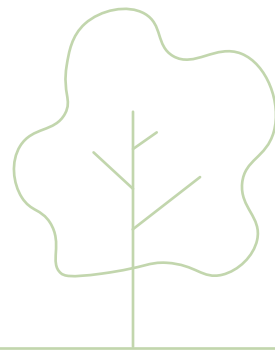
KLIMATMODELL - Matematiska datormodeller av olika komplexitet som beskriver klimatsystemet på jorden. Används framförallt för att undersöka hur människan påverkar klimatet, för att få en större förståelse för klimatsystemet och för att utföra beräkningar av hur förändringar i klimatet kan komma att se ut (Nationalencyklopedin u.å c).

KLIMATPARAMETER - En enskild faktor som är med och påverkar klimatet som helhet; exempelvis temperatur, nederbörd, värmeböljor, växtsäsong, markfukt (synonymer.se u.å; Berglind 2017).

RESILIENS - Ett systems elasticitet eller motståndsförmåga, vare sig det är en skog, en stad eller en ekonomi. Ekologisk resiliens inom biologin innebär ett ekosystems förmåga att återhämta sig och fortsätta utvecklas efter en störning, såsom storm eller brand (Nationalencyklopedin u.å d; c/o City 2014).

TROFISK NIVÅ - Läge i en ekologisk näringskedja, exempelvis som primär eller sekundär producent respektive konsument (Nationalencyklopedin u.å e).

URBAN HEAT ISLAND (UHI) - Även kallat urban värmeö, beskriver ett storstadsområde som är påtagligt varmare än omgivningarna, orsakat av den stora andelen hårdgjorda ytor, mindre växtlighet samt spillvärme från byggnader och trafik (Boverket 2019a).



02.

LITTERATURSTUDIE

I denna litteraturstudie avhandlas först klimatförändringarna, med fokus mot den globala uppvärmningen och vad för konsekvenser dessa spåsar på de urbana miljöerna. Generella prognoser lyfts, samt mer lokala sådana, rörande Sverige och Malmö mer specifikt. I samband med detta lyfts lite om vad Malmö idag arbetar med och har gjort hittills för att göra sitt urbana trädbestånd mer resilient gentemot klimatförändringar i allmänhet och temperaturhöjningar i synnerhet. Efter det inledande första kapitlet följer ett med fokus på att förklara mer i detalj vilken påverkan klimatet har på träd och vilka följder det kan få. Även verktyg, såsom trädinventeringar, styrdokument och målsättningar berörs, samt vilken betydelse dessa verktyg har vid arbetet med att klimatanpassa och förbättra resiliensen (öka hållbarheten) hos urbana trädbestånd. Sist men inte minst presenteras ett urval av olika tillämpade forskningsmetoder från studier utförda på olika håll runt om i världen. Grundpelarna i metodiken presenteras kortfattat och jämförs sinsemellan. Även skillnader och likheter gällande olika förutsättningar tas upp, för att sedermera kunna användas i resultat och diskussion. Jämförelsen kopplar även till information om Malmös nuvarande och framtida klimatsituation, samt fakta och insikter hämtade ur de övriga delarna av litteraturstudien.

2.1 KLIMATFÖRÄNDRINGAR OCH DESS PÅVERKAN PÅ URBANA MILJÖER

Detta inledande kapitel berör i korthet bakgrunden till klimatförändringarna och vilka effekter dessa har fått och spåsar kunna få generellt, ur ett globalt perspektiv, samt mer specifikt i urbana miljöer. Aktuella verktyg för att förutspå framtida klimatförhållanden beskrivs, både verktyg som används på ett generellt globalt plan, men även de med ett mer lokalt fokus på Sverige. Vidare berör kapitlet de olika klimatscenarier och prognoser som finns framtagna för Sverige och Malmö för det kommande århundradet. Några konkreta exempel på problematik som redan idag uppdagats följs av ett smakprov på den klimatanpassning, kopplat till det urbana trädbeståndet, som Malmö hittills bedrivit.

Under de senaste århundradena har mänsklighetens aktiviteter börjat göra ett synligt avtryck på det globala klimatet. Sedan industrialiseringen har urbaniseringen dessutom successivt spridit sig över världen, med allt fler storstadsregioner som ett resultat. Storstadsregioner som fortsatt växa och samtidigt blivit allt mer tätbefolkade, samt förbrukar alltmer resurser (Andersson-Sköld et al. 2015). Dessa moderna, artificiella landskap genomgår ständig förändring, då dess utbyggnad och utveckling alltjämt

sker i samklang med den mänskliga framåtandan. Nyskapande och innovationer trängs med industri, konsumtion och inte minst alla de olika livsmiljöer som dessa landskap inbegriper (Bettencourt 2016). Det är ett komplext landskap i ständig omvandling, som nu även står inför ytterligare utmaningar. För parallellt med denna utveckling fortskrider den globala uppvärmningen, som ett resultat av antropogena utsläpp av fossila bränslen till atmosfären (IPCC 2013). Aldrig tidigare har en så snabb uppvärmning av jordens klimat dokumenterats och forskare kämpar med att försöka kartlägga händelseförloppet, samt förutsäga tänkbara konsekvenser av detta förändrade klimat (Ordóñez Barona 2015). Vissa konsekvenser har redan visat sig i form av konkreta, mätbara förändringar eller katastrofer. Översvämningar, värmevågor, bränder, kraftfulla stormar, smältande glaciärer och stigande havsnivåer är några tydliga exempel på följder av den globala uppvärmningen (Butler 2018).

Den globala medeltemperaturen stiger, och forskning pekar på att den kommer fortsätta stiga med mellan 1,5-2°C innan detta århundradet är över (IPCC 2013). Ökningen sker i högre grad över land än över hav och i synnerhet i städer, där uppvärmningen byggs på av den urbana värmeö-effekten, UHI (Pretzsch et al. 2017). Forskning pekar även på att mönster rörande nederbörd kommer att förändras, något som kan komma att leda till ökad risk för torka och översvämningar (IPCC 2013; Klimat- och sårbarhetsutredningen 2007).

Gällande den globala uppvärmningen har FN:s klimatpanel IPCC konstaterat att det skett en ökning med 0.85°C under det senaste seklet (mellan 1880-2012) och att ökningen skett dubbelt så snabbt under periodens senare hälft. Detta tyder med största sannolikhet på att mänskliga aktiviteter varit en stor bidragande faktor i ökningen. En viss ytterligare ökning av temperaturen är oundviklig, men skulle på sikt kunna undvikas i viss mån genom kraftigt reducerade utsläpp globalt (IPCC 2013; Klimat- och sårbarhetsutredningen 2007).

Även på en mer regional och lokal nivå syns problem relaterade till den globala uppvärmningen och utsläpp av fossila bränslen. I tätbefolkade och trånga stadsmiljöer blir faktorer såsom lokalt höga halter av luftföroreningar och avgaser från biltrafik och industri till direkta hälsorisker för de som bor och vistas där (McMichael 2000). Värmeböljor intensifieras i det hårdgjorda, värmeabsorberande stadslandskapet och allt kraftigare skyfall blir till översvämningar när underdimensionerade ledningsnät inte klarar av att leda bort allt vatten tillräckligt fort (Salmond et al. 2016; Naturvårdsverket 2017a; Ordóñez Barona 2015).

2.1.1 Klimatmodeller och utsläppsscenarier

Vid simulering av framtidens klimat används globala klimatmodeller (GCM), det vill säga återgivning av luftströmmar och andra storskaliga företeelser i hela jordatmosfären. Då klimatet är globalt krävs att beräkningar av klimatet tar hänsyn till de globala förhållandena och då särskilt processerna i atmosfären. Dagens klimatmodeller, tillsammans med specifikt utformade havsmodeller, beskriver förändringar i hela klimatsystemet, inklusive havet och havsisen. Utifrån dessa syns till exempel hur polarisen i Arktis kan väntas minska märkbart i omfång när halten av växthusgaser i luften ökar och den globala medeltemperaturen stiger (Bernes 2016).

FNs klimatpanel IPCC har i sin femte huvudrapport (AR5 från 2014) sammanställt en uppsättning utsläppsscenarier, RCP:er (*Representative Concentration Pathways*), som presenterar möjliga prognoser för jordens temperatur under de kommande 100 åren. De benämns i kombination med en siffra (mellan 2.6-8.5), motsvarande växthusgasernas strålningseffekter på atmosfären år 2100. Ett högre nummer innebär högre utsläpp och därmed större effekt (Belusic et al. 2019). RCP:erna beskriver scenarier över framtida utsläpp och utifrån dessa förutspår klimatforskare de troliga effekterna på ekosystem och på det globala klimatsystemet. Scenarierna extrapoleras sedan till orosrapporter för människors hälsa, vattenresurser, stigande havsnivåer och effekter på jordbruket (Roseland 2012). Det finns idag fyra olika RCP:er, varav två är så kallade "stabiliserande" scenarier som i princip innebär att utsläppen bromsas och ligger kvar på den nivå de ligger på i dagsläget (RCP4.5 och RCP6.0), samt ett scenario där prognosen innefattar fortsatt höga växthusgasutsläpp (RCP8.5). Det fjärde (RCP2.6), innebär kraftigt reducerade utsläpp och är därmed det mest optimistiska scenariot och förutsätter stora internationella åtgärder (SMHI 2018a).

Framtagningen av de olika scenarierna har ej som ändamål att förutspå framtiden utan snarare att konkretisera klimatutvecklingen till följd av halten växthusgaser i atmosfären. Varje RCP-scenario visar en möjlig framtida utveckling där resultatet ger underlag för beslut kopplat till anpassningsåtgärder eller utsläppsregleringar (SMHI 2018a).

2.1.2 Klimatscenarier för Sverige - Sveriges framtida klimat

Då globala klimatmodeller utgörs av ett relativt grovmaskigt nät av celler har de svårt att behandla detaljnivån när det kommer till mer specifika regionala klimatförhållanden. Med en regional nedskalning, det vill säga genom att de globala klimatberäkningarna utökas med mer detaljerade beskrivningar av det aktuella området, kan bedömningen av framtida klimat förbättras (Bernes 2016). SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut) har på uppdrag av Länsstyrelsen gjort en bearbetning av IPCC:s RCP-scenarier för att få en mer detaljerad bild av vad de olika förändringarna skulle kunna få för betydelse i Sverige. Bearbetningen innebar att de satte de globala klimatscenarierna (RCP) i relation till mer specifika, regionala klimatmodeller (*Regional Climate Model*, RCM) som har betydligt finmaskigare cellindelning, för att kunna få fram mer detaljerad lokal information (Sjökvist et al. 2015; Bernes 2016). De senaste beräkningarna har genomförts med en regional klimatmodell kallad RCA4 som delar in Europa och atmosfären där ovan i celler på 50 x 50 km eller mindre. Jämförelsevis består de globala klimatmodellerna av celler med en diameter på ett tjugotal mil. Modellen har kombinerats med nio olika globala klimatmodeller på olika forskningsinstitut runt om i världen samt flera olika scenarier för människans framtida klimatpåverkan, framför allt RCP4,5 och RCP8,5 (Sjökvist et al. 2015; Bernes 2016).

Resultatet av SMHI:s bearbetning visade bland annat att det syntes en ökning i nederbörd över hela landet, men att denna ökning spås bli som störst över de norra delarna av landet. Beroende på vilket RCP-scenario som användes handlade ökningen om mellan 10-40%, där de högre procenten uppmättes i norr. Gällande medeltemperaturen i landet sågs även där en ökning. Mot slutet av detta sekel förväntas enligt RCP8.5 södra Sveriges medeltemperatur ha ökat med 4°C och i norra Sverige med 6°C, jämfört med referensperioden 1961-1990. Detta skulle bland annat innebära att Östersund skulle få en medeltemperatur under året på 7°C, vilket är den medeltemperatur som Skåne har idag. Noterbart är även att den största temperaturskillnaden syntes under vinterhalvåret och även här observerades störst ökning i de norra delarna av landet (Sjökvist et al. 2015). Den främsta orsaken till detta är återkopplingen mellan lufttemperaturen och förekomsten av snö och is. I takt med att temperaturen stiger kommer barmarken öka då snötäcken och havsisar krymper. Därmed ökar jordytans absorption av solljus, vilket förstärker uppvärmningen dagtid, samtidigt som nedkylningen nattetid minskar i brist på nedkylande snö (Bernes 2016).

Enligt Klimat- och sårbarhetsutredningen (2007) kommer temperaturen i Sverige stiga mer än det globala genomsnittet, vilket tydligt pekar på vikten av en aktiv klimatanpassning i svenska städer. Samma rapport uppger att prognoser för vind i framtiden är svåra att fastslå. Den beskriver att det finns tendenser till att högsta byvind samt den genomsnittliga vindhastigheten i Sverige kommer att öka och då framförallt vid kustnära områden samt i Götaland och i norra Norrland.

Sommaren 2018 var i många avseenden en extrem sommar för stora delar av Sverige, så till vida att värmerekord uppmättes och extrem torka erfors. SMHI (2018b) rapporterar att värmerekordet för säsongen den här sommaren slogs med 1-3°C i den norra halvan av landet, samt 2-4°C i de södra delarna. Detta innebar rekord för många platser i framförallt södra Sverige. Det extrema väderläget gjorde att antalet uppmätta högsommardagar (dagar med en temp på 25°C eller över) också blev fler än normalt. I Lund uppmättes till exempel 51 högsommardagar under juni till augusti, tio dagar fler än sommaren 2006, som tidigare innehade rekordet sedan mätningarna började 1961 (SMHI 2018b).

Den utdragen varma, torra och soliga sommaren 2018 resulterade även i ett antal stora skogsbränder i mellansverige. Bränderna var av en magnitud som överträffade om inte alla så de allra flesta skogsbränder som inträffat i Sverige de senaste 100 åren och sågs som ett direkt resultat av den ihållande extremvärmen (SOU 2019). Samtidigt drabbades stora delar av landet av en nedgång i nederbörd. I vissa delar av Blekinge och på Öland kom inte ens hälften av den normala nederbördsmängden. Istället uppmättes rekordmånga soltimmar på många av landets väderstationer (SMHI 2018b).

Sveriges kommuner och Landsting (SKL 2019) skriver om ett antal olika klimatstudier som utförts i tre olika städer i Sverige. Bland annat innefattade en av studierna en kartering av temperatur och nederbörd i Norrköping 2018. Temperaturmätningar utfördes på olika platser runt om i staden under somrarna 2017 och 2018 och en intressant observation var att på en gata utan träd uppmättes en 10 grader högre maxtemperatur jämfört med en gata med träd. Ett annat mönster som kunde urskiljas i Norrköping sommaren 2018 var att människor inte längre vistades lika mycket på torg och öppna ytor, samt att användandet av parker och andra grönytor ökade (SKL 2019).

2.1.3 Klimatförändringar i Malmö

Gällande de klimatförändringar som drabbar staden skriver Malmö stad själva att ökad risk för extrema nederbördsmängder med risk för översvämning, havsnivåhöjning och ett varmare klimat är de tre områden där de högst troliga och allvarligaste konsekvenserna befaras (Malmö stad u.å). Då stadens träd har föga effekt på en höjd havsnivå faller detta under denna uppsats avgränsning, och fokus gällande klimatförändringar i Malmö ligger därmed på stigande temperatur samt till viss mån ändrade mönster gällande nederbörd.

I augusti 2014 drog det in ett skyfall som orsakade massiva översvämningar i stora delar av Malmö. Skadorna som följde beräknas ha kostat staden över en halv miljard kronor. Denna sällsynta typ av intensiva skyfall förväntas kunna bli både vanligare och allt intensivare i framtiden, då en varmare atmosfär bär med sig mer fukt (SKL 2019; Naturvårdsverket 2017b). I Malmö stads skyfallsplan konstaterar staden att en övergripande planering behövs där lokala lösningar måste till för att förhindra liknande situationer i framtiden och att grönsstrukturen fyller en viktig roll i sammanhanget (Malmö stad 2017a). Genom att lokalt hantera det vatten som faller ökar också kapaciteten generellt över hela staden att hantera dessa extrema vädersituationer (Boverket 2019b; Naturvårdsverket 2017b).

De rekordvarma och torra somrarna de senaste åren i Sverige har haft en synligt stressande effekt på många stadsträd. Henrik Sjöman, trädexpert vid Sveriges Lantbruksuniversitet, poängterade i en intervju med TT angående den torra sommaren 2018, att de träd som lider mest är just stadsträden. I Malmö hade han sett tydliga tecken på vattenbrist hos bland annat björkar och gula blad på flera trädarter redan i juni (TT 2018). Sommaren 2018 ökade således behovet av bevattning markant och grundvattennivåerna var på sina håll dessutom extremt låga, någonting som kom att till viss del påverka även säsongen 2019, som dock lyckligtvis uppvisade ett jämnare nederbördsmönster (Jordbruksverket 2019).

2.1.4 Pågående klimatanpassning av Malmös trädbestånd

En viktig del i att kunna avgöra vilken typ av vidare forskning det finns ett behov av gällande träd och trädbestånds resiliens i Malmö, är att utvärdera vad som redan gjorts. Malmö är som tidigare nämnts en av de städer i Sverige (och Norden) som ligger längst fram i detta arbete (Sjöman et al. 2012b) och framhåller även själva att de har några av de tuffaste miljömålen i världen, där de bland annat skall bli Sveriges klimatsmartaste stad år 2020. Det ser dock ut att bli tufft, då enbart 3 av de 19 miljömålen som satts väntas uppnås före utgången av år 2020, som är slutet på programmets giltighetstid (Malmö stad 2020a). 12 av målen ser dock ut att uppfyllas till viss del, medan resterande 4 inte ser ut att nås alls. Vad gäller målet som rör utvecklingen av gröna och blåa strukturer ser inte det ut att nås, framförallt beroende på att den totala arealen grönyta per invånare har minskat (Malmö stad 2020a). Arbetet med att utveckla tydligare riktlinjer har dock gått framåt. Malmös tidigare handlingsplan för klimatanpassning gick ut 2014, men detta arbetet syns nu i andra planer och strategier, som i Översiktsplanen (Malmö stad 2018) och Skyfallsplanen (Malmö stad 2017a). Malmö uppger själva att de gröna och blå kvaliteterna i staden skall utvecklas och utökas (Malmö stad 2019a), och en plan för gröna och blå miljöer finns idag framtagen, men har i skrivande stund ej blivit politiskt antagen (Malmö stad 2019b). Detsamma gäller Trädstrategin (Malmö stad 2017b) som administrativt lagts som en del av den grön-blå planen. Trädstrategin är dock antagen av Tekniska nämnden och i praktiken arbetar gatukontoret efter dess målsättningar säger Larsola Bromell¹. Däremot kan de inte ställa krav på måluppfyllelse förrän den är politiskt antagen. Dessa planer ersätter den Trädplan som varit styrdokument sedan 2005 (Malmö stad 2017b).

¹Larsola Bromell,
landskapsarkitekt,
Malmö stad, mail-
kontakt 2020-01-10.

På Malmös gatukontor finns ett stort engagemang där det under det senaste decenniet arbetats mycket med att utöka artdiversiteten. Här testas nya, ovanliga arter och sorter för att utöka paletten av tåliga stadsträd (Jensfelt 2018). I Malmös trädstrategi nämns det att: *“Arter som är lite använda i Malmö, men där det finns dokumenterade goda erfarenheter ska användas i större projekt. Arter som inte har använts eller som bara har använts i enstaka fall och där erfarenheterna är begränsade ska testas i liten skala.”* (Malmö stad 2017b, s. 19). Detta i syfte att jämma ut fördelningen av arter och sorter så att inte ett fåtal arter dominerar (Malmö stad 2017b).

Mycket arbete utförs också av universitet och botaniska trädgårdar gällande att finna nya och bra arter att vidga svenska städernas trädsortiment med. Stora områden i bland annat Kina har identifierats i vilka många potentiella stadsträd tros kunna finnas (Sjöman et al. 2012a). Många gånger handlar det nu mest om att identifiera specifika ståndorter samt



Bild 1. Malmö arbetar med att utveckla sin grönstruktur. Foto på trädraden av smalbladig ask på Persborgsgatan.

lokal- och mikroklimat i dessa områden, som kan tänkas erbjuda det bäst lämpade växtmaterialet för de hårdgjorda stadsmiljöerna i svenska städer (Sjöman et al. 2012a).

I början av 2020 kom nyheten att Malmö tilldelas utmärkelsen *“Tree City of the world 2019”* av FN:s livsmedels- och jordbruksorganisation samt *Arbor Day Foundation* och klassas därmed som en av världens bästa trädstäder (Malmö stad 2020c). Utmärkelsen går till städer som arbetar aktivt med att utveckla sitt trädbestånd samt med att göra stadens invånare uppmärksamma på vad träd gör för staden (Malmö stad 2020c; Blom 2020). Att Malmö ses ligga i framkant med sitt arbete att klimatsäkra och diversifiera sitt trädbestånd är mycket tack vare stadens gedigna arbete med trädinventeringar, samt benägenhet att satsa på gröna lösningar. Stadens trädbestånd omfattar idag cirka 75 000 träd i offentlig parkmark, på gator och torg (Malmö stad 2019c; Malmö stad 2019d). I sin, ännu inte politiskt antagna trädstrategi skriver Malmö att antalet olika arter och sorter av träd i staden idag uppgår till cirka 550 stycken och att målet skall vara att utöka denna siffra. Detta för att på så sätt minska riskerna för att skadedjur, sjukdomar eller klimatförändringar skall radera stora delar av beståndet under en kort period, vilket skedde i samband med almsjukans framfart. I trädstrategin står vidare att målet skall vara att utöka denna siffra till minst 1000 olika arter och sorter inom fem år från det att strategin antas och att dessa skall fördelas ut strategiskt runt om i tätbefolkade områden för att åstadkomma variation över hela Malmös tätort. Däremot skriver de också att inhemska arter och sorter i första hand skall användas när nyplantering sker i mer rurala områden (Malmö stad 2017b).

Antalet så kallade jätteträd (träd med en stamdiameter på en meter eller mer) sjönk kraftigt under 2000-talets första decennium, mycket till följd av almsjukan. År 2009 fanns bara hälften av de nästan 400 jätteträden Malmö räknade in 2001 kvar, ett ofantligt slag mot den biologiska mångfalden i staden, då jätteträd står för en stor mängd livsmiljöer och andra ekosystemtjänster som många andra arter tar del av (Malmö stad 2019c). Sedan 2009 har Malmö satsat stort på att åter bygga upp och förbättra kvaliteten på det urbana trädbeståndet och i början av 2020 kom nyheten att tekniska nämnden satsar 5 miljoner kronor på att förbättra stadens trädbestånd, varav 3 miljoner kommer att gå till att plantera nya träd (Rosén 2020).

I skrivande stund pågår även forskning med syftet att hitta metoder och strategier för att klimatanpassa urbana trädbestånd i Sverige. Bland annat utförs en studie vid SLU Alnarp, där vattenstress hos träd undersöks för att ta reda på kritiska riktvärden hos olika trädarter gällande vattennivåer. I framtiden skulle detta potentiellt kunna bli till en guide för etablering och skötsel, samt eventuellt ge svar på vilka arter eller genotyper som lämpar sig bäst för plantering i urban miljö i ett framtida klimat (Swe-CRIS u.å).

Larsola Bromell¹, landskapsarkitekt på Malmö stad ställer sig positiv till en studie som kartlägger hur klimatförändringarna skulle påverka stadens trädpopulation. Han säger att Malmö stad skulle gynnas av dess resultat och att en potentiell studie *“skulle kunna vara ett väldigt värdefullt verktyg i hur vi riktar planeringen av trädartsfördelning redan idag, samt ge värdefull input till hur vi bör rikta våra underhållsplaner för framtiden.”*

¹**Larsola Bromell**,
landskapsarkitekt,
Malmö stad, mail-
kontakt 2020-01-07.

2.2 TRÄDEN SOM KLIMATREGLERARE

För att belysa betydelsen av urbana trädbestånd i egenskap av klimatre-glerare, följer här ett kapitel som ger en mer ingående beskrivning av hur de urbana trädbestånden kan reglera stadsklimatet och göra den urbana miljön mer dräglig för de som lever och vistas där. Det handlar bland annat om hur de kan bidra med ett antal olika ekosystemtjänster.

Med ekosystemtjänster menas de tjänster eller fördelar och det bidrag till mänskligt välmående som genereras av olika ekosystem. Stadsträden är viktiga komponenter i de urbana ekosystemen, vars ekosystemtjänster bland annat innefattar; luftrening (fångar upp skadliga partiklar och avgaser), mikroklimatreglering, ljudreducering/maskering, dagvattenhantering, samt rekreation och kulturella värden (Bolund & Hunhammar

1999; Salmond et al. 2016). Att bevara och eftersträva biologisk mångfald är en viktig del i att hålla ekosystem motståndskraftiga och vitala, vilket också är en förutsättning för att de ska kunna fortsätta generera ekosystemtjänster. En mångfald av arter innebär spridning av risker och därmed ofta större möjlighet till omorganisation efter en störning (Persson & Smith 2014). En hög biologisk mångfald betyder alltså en generellt högre resiliens och bättre möjligheter för ett ekosystem att klara av till exempel klimatförändringar, medan en låg biologisk mångfald ofta ger en betydligt lägre resiliens, där en mindre störning kan leda till en plötslig och oväntad ekologisk kollaps (c/o City 2014; Persson & Smith 2014). I urbana miljöer är det inte ovanligt att samma typ av vegetation och planteringsmetod används, exempelvis marktäckande buskar eller trädtrader i klippt gräsmatta. Växtmaterialet är dessutom sparsamt varierat, både gällande genetiskt urval, men också åldersmässigt, vilket medför att den biologiska mångfalden många gånger blir ytterst begränsad (Persson & Smith 2014).

Många av de urbana ekosystemen påverkas som tidigare nämnts hårt av den ofta mycket snabba utvecklingen i dessa områden. Städer idag växer och förändras generellt mycket och det sker inte sällan väldigt fort. Detta leder i sin tur till att ekosystemen inte hinner mogna, vilket många gånger är en förutsättning för att ekosystemtjänster skall kunna tillkomma eller optimeras (Bolund & Hunhammar 1999). Fragmentering av ekosystem är en annan starkt påverkande faktor i dessa hastigt och kraftigt föränderliga landskap. Kopplingar mellan olika grönområden riskerar att gå förlorade när ny bebyggelse eller infrastruktur tar plats, vilket hindrar arter från att sprida sig mellan de olika lokalerna (Persson & Smith 2014). Storleken på grönområden är också av betydelse för den biologiska mångfalden, eftersom större områden potentiellt kan innehålla ett högre antal olika habitat (livsmiljöer) och därmed arter, som enkelt kan sprida sig vidare och kolonisera nya habitat inom ett sammanhängande grönområde (Persson & Smith 2014; Bolund & Hunhammar 1999). Detta i kombination med att resurser, såsom vatten och energi, oftast används mycket ineffektivt skapar många gånger tvivelaktiga förutsättningar för att uppnå stabila, mogna och resilienta urbana ekosystem (Bolund & Hunhammar 1999).

Även om en stad innehåller ekosystemtjänster är det viktigt att poängtera att dessa urbana områden konstant också är beroende av ekosystemtjänster genererade utanför dess gränser, såsom exempelvis matproduktion. Däremot finns det mer lokal problematik som bäst eller enbart kan lösas genom att hanteras på plats, med hjälp av lokalt producerade ekosystemtjänster; exempelvis reglering av den lokala luftkvalitén eller omhändertagandet av dagvatten. Därför kan urban biologisk mångfald med tillhörande ekosystemtjänster ses som en ytterst viktig komponent i att skapa en dräglig levnadsmiljö i framtidens städer (Bolund & Hunhammar 1999).



Bild 2. Stadsträd skapar inte bara rumslighet utan erbjuder många typer av ekosystemtjänster som vi människor drar nytta av.

2.2.1 Temperatur

När det kommer till parametern temperatur finns ett antal olika sätt att mäta detta, vilket kan vara av stor relevans beroende på vad det är för resultat som eftersträvas. Detta gäller inte minst vid studier kopplade till vegetation i urbana miljöer. *Medeltemperatur* bygger till exempel ofta på mätningar av enbart lufttemperatur, vilket kan bli ytterst missvisande, eftersom temperaturen på luften inte alltid stämmer överens med den upplevda temperaturen. Nedan följer en kortfattad begreppsförklaring över termer som berör temperatur och vad som skiljer dem åt.

LUFTTEMPERATUR: Vanligtvis beskrivs temperatur med ett mått på lufttemperatur, som uppmäts med en termometer på en höjd av 1,5-2 meter över marken, skyddad från solens strålning (SMHI 2018c). Lufttemperaturen kan vara densamma över ett större område, men säger egentligen inte så mycket om den upplevda temperaturen, det vill säga den temperatur som upplevs och påverkar människorna på en viss plats, i ett visst sammanhang. Måttet tar inte hänsyn till strålning eller temperaturskillnad och kan snarare ses som ett närmvärde för att ange ett generellt klimat (Brown 2010).

STRÅLNINGSTEMPERATUR (*Mean Radiant Temperature*): Är ett mått på strålningsutbytet med omkringliggande ytor i alla riktningar och kan förenklat beskrivas som den inverkan som varma eller kalla ytor har på temperaturen. En kombination av både kortvågig och långvågig strålning, det vill säga både direkt och reflekterande, ger den sammanlagda strålningstemperaturen som når människan. Mängden strålning som en människa utsätts för påverkar i högre grad än lufttemperatur hur mycket värme en organism utsätts för och därmed också den upplevda temperaturen (Thorsson et al. 2007; Brown 2010).

UPPLEVD TEMPERATUR: Beskriver hur varm eller kall en människa eller organism känner sig. Den upplevda temperaturen beror på mängden kort- och långvågig strålning hen utsätts för och kan vara olika beroende på exempelvis om personen befinner sig i sol eller skugga, samt hur mycket strålning som avges från omgivande strukturer. Den upplevda temperaturen påverkas också av andra faktorer såsom vind och luftfuktighet (Brown 2010; Matzarakis et al. 2007). Den upplevda temperaturen förändras därmed i olika delar av stadslandskapet. Detta beror på att olika omgivande strukturer påverkar mängden strålning som fluktuerar på platsen, vilket påverkar den upplevda temperaturen, trots att lufttemperaturen är densamma. Mängden kortvågig strålning är enligt Matzarakis et al. (2007) den meteorologiska parameter som varierar mest i urbana landskap.

MIKROKLIMAT: Urbana landskap innehåller en mängd olika mikroklimat, som kan beskrivas som begränsade utomhusområden med specifika egenskaper gällande nederbörd, luftfuktighet, temperatur, vind, jord och solstrålning. Dessa varierar i storlek men framförallt kan dess klimatrelaterade parametrar avvika väsentligt från förhållanden som råder över ett större område (Brown 2010; Pijpers-van Esch 2015).

VÄRMESUMMA/TEMPERATURSUMMA: Är en enhet som anger temperatur summerad under en viss tid. Detta är ett mått på den sammanslagna dygnsmedeltemperaturen under hela vegetationsperioden när den överstiger +5°C. Måttet ger därmed en beskrivning av hur varm hela växstsäsongen är (Stendahl 2019).

YTTEMPERATUR: Temperaturen på luften närmast markytan. Den är ofta inte densamma som lufttemperaturen, då fasta föremål generellt lagrar mer värme än vad luft gör (Armson et al. 2012).

Den mycket stora mängden värmealstrande material i städerna, såsom asfalt och andra hårdgjorda ytor med lågt albedo, resulterar i ett torrare och varmare klimat än vad som många gånger återfinns i mer rurala, naturlika miljöer (Boverket 2019a; Morini et al. 2016). En ökad mängd träd kan motverka detta, då vattenånga avges från löv och barr samtidigt som energi hämtas från luften, en process som kallas evapotranspiration. Detta bidrar till en ökad luftfuktighet vilket kyler ner luften närmast trädet, samtidigt som skuggan från trädet hjälper till att sänka strålningstemperaturen och ytemperaturen hos det hårdgjorda materialet. Dessutom ger vegeterade ytor en möjlig ökning av albedo, jämfört med exempelvis asfalt, som alstrar desto mer värme (Salmond et al. 2016; Hardin & Jensen 2007). Hardin & Jensen (2007) fastställde i sin studie att den sammanslagna "lövytan" hos stadens träd hade en avgörande påverkan på stadens temperatur, då de kunde se att en minskning av bladens area innebar en ökning i temperatur och vice versa.

Det är också svårt att mäta och fastställa de exakta fördelarna gällande vegetationens mikroklimatreglering enbart genom att titta på medelvärden för lufttemperaturen i en stad, exempelvis under en värmebölja (Salmond et al. 2016). Studier med detta upplägg har i själva verket visat sig generera väldigt olika utfall. I Arizona, med ett generellt rådande torrt och varmt klimat, visade sig vegetationen ha en stor inverkan gällande reducering av medeltemperaturen under en värmebölja. Däremot syntes denna effekt inte alls lika tydligt under en värmebölja i New York. Problemet med många av de utförda undersökningarna är att de inte tar hänsyn till hur vegetationen är distribuerad, vad det är för typ av vegetation, eller för den delen om vegetationen kan tänkas ha några *andra* lindrande egenskaper (som inte nödvändigtvis synliggörs genom en generell lufttemperaturmätning) under en pågående värmebölja (till exempel skänka skugga) (Salmond et al. 2016; Morini et al. 2016).

2.2.2 Nederbörd

Vid översvämningar till följd av skyfall handlar problematiken oftast om att det kommer väldigt mycket vatten under en kort tid och att det därför blir ont om plats för vattnet, som snabbt fyller upp ledningsnät och brunnar. Denna problematik blir ofta tydlig i urbana miljöer, där hårdgjorda ytor är vanligt och där dagvattnet hastigt leds ner i brunnar med en begränsad kapacitet (Boverket 2019b; Naturvårdsverket 2017b). Eftersom det är i stort sett omöjligt, både ekonomiskt och platsmässigt, att se till så att de tekniska lösningarna (dagvattenbrunnar med underjordiska ledningssystem) skall kunna hantera allt vatten som ansamlas under dessa skyfall, gäller det att komma på alternativa lösningar. En mycket

effektiv och betydligt billigare lösning är att utöka mängden grönytor och öppna dagvattensystem och då inte minst mängden träd (Bolund & Hunhammar 1999; Boverket 2019b; Naturvårdsverket 2017b). Dessa ytor kan dessutom fylla en funktion även då de inte används som översvämningss- eller fördröjningsyta (Deak Sjöman et al. 2015). Vegetation hjälper till att hantera problematiken på ett antal sätt; en hårdgjord yta med träd, exempelvis en stadsgata, tenderar till exempel att ha upp till ca 60% lägre avrinning än en icke-vegeterad hårdgjord yta. Samtidigt sker ingen eller närapå ingen avrinning till intilliggande ytor alls från gräsytor eller planteringsbäddar (Boverket 2019b). Detta beror framförallt på att växter, och framförallt stora träd, fångar upp och fördröjer vatten med sina kronor, samtidigt som trädens rötter och de mikroorganismer som samverkar med dem tar upp ytterligare en ansevärd mängd vatten, samt ökar infiltrationen genom att förbättra jordens fysiska och kemiska egenskaper (Boverket 2019b; Naturvårdsverket 2017b). Partiklar och skadliga ämnen hanteras på detta sätt också innan det hinner nå ut i vattendrag, genom att träd och annan vegetation hjälper till att bromsa höga flöden. Något som också förhindrar översvämningar nedströms (Boverket 2019b). Det skall dock understrykas att rätt typ av projektering och etableringskötsel är en förutsättning för att denna typ av ekosystemtjänst skall kunna uppnås. Förhållandena i exempelvis den ömsom väldigt blöta och ömsom mycket torra växtplats som en dagvattenbädd innebär är sällan optimala för någon trädart och särskilt inte i etableringsfasen (Deak Sjöman et al. 2015).

Även om nederbördsprognoserna i framtida klimat är något osäkra, går det att konstatera att en förlängd tillväxtperiod kommer att innebära att mer vatten tas upp av växter, vilket i sin tur på vissa platser även kan göra marken torrare i perioder, om inte den generella årsmedelnederbörden ökar (Bernes 2016). Detta förhållande kan komma att förstärkas ytterligare i många av de urbana miljöer, där jordarna och växtbäddarna generellt redan är mer väl-dränerade än i en mer naturlig kontext (Deak Sjöman et al. 2015).

2.2.3 Luftkvalité

Då luftkvaliteten är starkt beroende av vädret är den tillika väldigt känslig för klimatförändringar. De luftföroreningar som påverkas mest av klimatförändringarna och samtidigt utgör det största hotet för människors hälsa är marknära ozon och luftburna partiklar (Jacob & Winner 2009; Sveriges Miljömål 2018). Dessa två typer av föroreningar lyfter IPCC specifikt fram i sin klimatrappport (IPCC 2013) där de sammanställt modeller för hur klimatförändringarna kan påverka framtida halter av marknära ozon och luftburna partiklar. I Sverige har riksdagen formulerat 16 klimatmål, varav ett gäller "Frisk luft". I målets preciseringar har maxnivåer för bland annat marknära ozon och luftburna partiklar fastställts. I dagsläget kommer målet "Frisk Luft" inte ha nåtts när tidsbegränsningen som var satt till år 2020 löper ut. Naturvårdsverket som är ansvarig myndighet för målet, skriver att halterna av kvävedioxid, partiklar och ozon fortfarande ligger långt från målnivån, trots observerade positiva trender i miljön (Sveriges Miljömål 2018).

Marknära ozon är det ozon som bildas från marken upp till 1 kilometers höjd och som kan vara skadlig för människor, djur och växtliv. Detta skadliga ozon bildas i förorenad luft under inverkan av solljus. Föroreningar som kväveoxider och kolväteföreningar bidrar till att marknära ozon bildas, men även så kallade flyktiga organiska ämnen (eng. *Emission of Volatile Organic Compounds*, VOC) från såväl naturliga som mänskliga källor (Naturvårdsverket 2019). Vad gäller naturliga källor är det framförallt stressade träd som avger biogena flyktiga föreningar, som i sin tur reagerar med avgaser från trafiken. Detta är en hälsorisk, framförallt om platsen i fråga avsaknar bra genomflöde av vindar (Salmond et al. 2016). Vad

Bild 3. Träden kan hjälpa till att rena luften från skadliga partiklar.



som går att urskilja är att VOC, och därmed marknära ozon, är beroende av temperaturen, vilket innebär att stadsträd, genom ett utbrett krontak, kan sänka temperaturen så att bildandet av VOC och marknära ozon minskar (Nowak 2002).

Stadens träd hjälper till att förbättra luftkvaliteten på många olika sätt och kan därigenom agera som ett verktyg i att hämma de oönskade effekterna som prognoserna för utsläpp har på stadens luft. Träd kan reducera yttemperaturer genom beskuggning och på detta sätt inverka på byggnaders energianvändning, vilket i förlängningen även kan minska utsläppen av föroreningar till följd av ett minskat behov av att använda klimatanläggningar. Träd kan även genom sina klyvöppningar ta upp gasföroreningar och luftburna partiklar och rena på sätt luften från föroreningar (Nowak 2002). Kapaciteten att ta upp skadliga partiklar ökar med bladmassan. Stora träd har dessutom en bättre filtreringskapacitet än buskar och annan lägre vegetation. Barrträd har en generellt högre kapacitet att fånga upp partiklar, eftersom deras sammanlagda "lövyta" är betydligt större än hos de lövfällande, men också för att de behåller sina gröna växtdelar året runt. Noterbart är dock att barrträd generellt är mer känsliga för föroreningar samtidigt som lövträden är generellt bättre på att fånga upp gaser (Bolund & Hunhammar 1999).

Bild 4 & 5. Genom att skugga husfasader hjälper träden till att minska byggnadernas energiförbrukning.



2.3 KLIMATETS PÅVERKAN PÅ TRÄDEN

För att träden skall kunna bidra med de ekosystemtjänster som efterfrågas krävs det att omkringliggande omständigheter tillåter träden att frodas. I takt med att klimatet förändras ökar pressen på träden från olika typer av stressande faktorer, vilket kan hämma trädens produktivitet och vitalitet. I detta kapitel beskrivs hur klimatet påverkar träden gällande bland annat fenologi, skadedjur och sjukdomar samt vid händelser av extrema väderförhållanden.

Pågående och kommande förändringar i klimatet kommer i hög grad att påverka växtligheten, och träd i synnerhet, då trädens långa livsspann och därav relativt långsamma genetiska anpassning utgör ett problem i förhållande till hastigt uppkomna klimat- och miljöförändringar (Yang 2009; McPherson et al. 2018). Detta är något som till stor del förbisetts i stadsplanering och klimatforskning, menar Ordóñez & Duinker (2014) och skriver vidare att:

“ If climate adaptation using urban forests is important for cities, then one must consider also the effects of a changing climate on the trees in the city. ”

(Ordóñez & Duinker 2014, s. 2)

I stadsmiljö kommer värmeö-effekten (*Urban Heat Island*, UHI) göra att klimatförändringarna intensifieras på lokal nivå (Morini et al. 2016). Det skulle alltså kunna innebära betydligt högre upplevda temperaturer lokalt än vad som förutspås med hjälp av globala- eller regionala klimatmodelleringar. En undersökning av 419 storstäder visade att den genomsnittliga årliga effekten av UHI på yt-temperaturen inne i städerna var en förhöjd temperatur på omkring 1,5°C, jämfört med omgivande landskap. Andra studier har dock indikerat att denna effekt i vissa fall kan handla om så mycket som 2-10°C högre än temperaturen i omgivande landskap (Pretzsch et al. 2017). Förändringar gällande markfukt och hydrologi är också någonting som i allra högsta grad kan påverka trädens vitalitet. Träd i urbana miljöer är därmed extra hårt utsatta för klimatförändringarna då effekterna blir intensivare och förändringar sker i en högre takt

där än i mer naturlika landskap (Ordóñez Barona 2015; Pretzsch et al. 2017). Många urbana trädbestånd domineras även av arter som kräver stor mängd bevattning, samt andra intensiva skötselinsatser (McPherson et al. 2018).

2.3.1 Årstidsväxlingarnas påverkan på växtligheten

I och med ett varmare klimat och högre koldioxidhalter i luften kommer vegetationsperioden bli längre, vilket medför en ökad tillväxt, både ovan och under mark (Sjöman et al. 2015bc; Yang 2009; Bernes 2016; Pretzsch et al. 2017). Trots att en hög tillväxt kan vara önskvärt i flera fall, då träd snabbare kan bygga upp estetiska värden och bidra med ekosystemtjänster, så kräver det även mycket resurser i form av vatten och näring (Hughes 2003). På grund av den kompakterade ståndorten som återfinns i urbana miljöer utsätts träden redan idag ofta för stress i form av vatten- och näringsbrist. Vid en förlängd vegetationsperiod och ännu högre temperaturer riskerar denna form av stress att förvärras (Pretzsch et al. 2017). Pionjära och snabbväxande träd kommer potentiellt att ha en fortsatt hög tillväxt, men under en längre period. En ökad tillväxt kan också vara problematisk hos arter med ömtålig eller skör ved, då det kan resultera i fler brutna grenar som potentiellt kan orsaka skada hos både människor och byggnader om de placerats nära gångvägar eller bostadsområden (Yang 2009).

Tack vare omfattande kartläggningar som gjorts av olika fenologiska mönster, både av forskare och privatpersoner sedan långt tillbaka, finns det dokumenterat hur dessa förändringar sett ut. Utifrån dessa kan vissa slutsatser dras gällande klimatets påverkan på ekosystemen (Visser 2016). Denna typ av kartläggning påbörjades redan innan det kunde konstateras att den globala uppvärmningen var ett reellt problem, vilket har gjort att underlaget hunnit bli relativt omfattande. Detta kan därmed komma till användning vid arbetet med att förstå fenologiska förändringar till följd av klimatförändringar. Studier har vidare visat att den fenologiska utveckling som tidigare skett under sommaren idag generellt sker tidigare under året (Thackeray et al. 2016). Det mildare klimatet kan hindra vissa trädarter att gå i vila och sätta frukt, då de kräver en viss period av kyla (McPherson et al. 2018). Det som forskare också kunnat konstatera är att förändringar av de fenologiska mönstren hos olika arter orsakade av klimatförändringar kan "desynkronisera" ekologiska interaktioner och därmed hota hela ekosystemens funktioner (Thackeray et al. 2016; Persson & Smith 2014). Enkelt beskrivet beror detta på att arter på olika trofiska nivåer i näringskedjan har olika känslighetsgrad och anpassnings-



förmåga gällande förändringar i klimatet, framförallt gällande temperatur. Om viktiga säsongsbetonade interaktioner mellan arter inte längre är synkroniserade kommer detta få allvarliga konsekvenser inom populationer och därmed ekosystemens funktioner och tjänster (Thackeray et al. 2016).

Bild 6. Ett förändrat klimat kommer innebära att flera fenologiska processer hos träden påverkas, såsom invintring och knoppsättning.

2.3.2 Extrema väderförhållanden

De extrema väderhändelser som förväntas öka i framtiden (IPCC 2013) kommer i högsta grad att fysiskt påverka städernas träd (Yang 2009; Brandt et al. 2016). Extrema perioder av värme och torka kommer utsätta träden för hög stress men de kommer även exponeras för stormvindar, regn och hagel i högre grad, liksom översvämningar och i vissa delar av världen även tung belastning i form av snö och is (McPherson et al. 2018). Yang (2009) skriver att orkanen Katrina som drog fram över södra delarna av USA 2005 är ett tydligt exempel på de katastrofala effekter denna typen av extrema väderförhållande kan ha på stadsträd och trädbestånd i lokal och regional skala. Flera länder, däribland Sverige har under de senaste åren fått bevittna hur antalet skogsbränder ökat och stora skogsområden har eldhärjats med enorm förödelse som följd (SMHI 2019b).

Värmeböljor där hastiga och kraftiga förändringar i temperatur förekommer är en av de svåraste stressfaktorerna ett träd kan utsättas för. Den största anledningen till detta är att en hastigt uppkommen och ovanligt förekommande extrem temperaturförändring inte ger något utrymme till evolutionär anpassning (Rennenberg et al. 2006). Många träd klarar dock att återhämta sig relativt bra från varma perioder, förutsatt att vattentillgången varit god under tiden. Det vanligaste scenariot är dock att värmen ackompanjeras av torka, vilket drastiskt förvärrar situationen för trädet,

detta bland annat eftersom det begränsar trädets möjligheter att kylas ned med hjälp av transpiration (Teskey et al. 2015).

Även om trädens produktivitet och tillväxt kan gynnas av en högre *medeltemperatur* med ökad mängd koldioxid i atmosfären, finns det få saker som är positiva för ett träd gällande de perioder av extrema temperaturer som förekommer vid en värmebölja (Rennenberg et al. 2006; USGBC 2019; Teskey et al. 2015). Perioder av konstant och extrem värme och torka är betydligt mer kritiskt för träden, än enstaka dagar med höga temperaturer, eller en höjd medeltemperatur med jämnare värmeväxlingar och nederbörd under säsongen (Rennenberg et al. 2006). Sjöman et al. (2015a) nämner att en ökad tillväxt inte enbart behöver vara negativ, förutsatt att tillgång på näring och vatten är optimal. De skriver att den generellt optimala temperaturen för skotttillväxt är förvånansvärt hög, kring 25°C till 30°C, även för mer nordliga arter som till exempel vitgran (*Picea glauca*) och svartgran (*Picea mariana*). Detta tyder på att en del arter absolut kan gynnas av ett varmare klimat, men återigen förutsätter det tillräcklig tillgång på vatten och näring. Samtidigt har många av de träd som är anpassade för ett varmare klimat utvecklade strategier för att hushålla med vatten då det i deras naturliga habitat är en bristvara (Sjöman et al. 2015bc).

Rennenberg et al. (2006) skriver att den optimala temperaturen för fotosyntes hos träd sällan överskrider 30°C, även om det finns arter eller genotyper som har utvecklat strategier för att kunna hantera värmen bättre, såsom till exempel olika färg och form på blad. Efter att denna gräns är nådd stagnerar fotosyntesen, då bland annat de enzymer som katalyserar processen de-aktiveras och stomata (klyvöppningar) börjar stängas, vilket förhindrar gasutbyte. Samtidigt ökar respirationen (cellandningen) (Rennenberg et al. 2006). Enbart det faktum att fotosyntesen avstannar i trädets gröna delar betyder dock inte automatiskt att trädet tar permanent skada. Det betyder att tillväxten hos trädet hämmas eftersom ingen ny energi kan framställas (Teskey et al. 2015). Men eftersom cellandningen (respirationen) fortsätter, och ökar explosionsartat med stigande temperatur, kommer inte nödvändigtvis permanenta skador på de befintliga cellerna att uppstå. Däremot innebär den ökade respirationen att trädet gör av med en större mängd kolhydrater. Respirationen ökar kraftigt och når sitt optimum runt 50-55°C. En studie visade till exempel att respirationen hos *Populus tremula* var åtta gånger så hög vid 55°C som vid 20°C. Detta innebär alltså att så höga temperaturer sällan ger något bra nettoresultat mellan fotosyntes och respiration. Först vid över 60°C avstannar respirationen abrupt, varpå riktigt kritiska konsekvenser för trädet kan uppstå, såsom permanenta skador på cellerna och slutligen celldöd (Teskey et al. 2015).

Utöver fotosyntes och respiration kan även trädets näringsupptag påverkas av extrem värme och torka, vilket därmed också påverkar dess konkurrenskraft gentemot omkringliggande vegetation (kan leda till rubbningar i ekosystem, då vissa arter plötsligt får en konkurrensfördel/nackdel) (Rennenberg et al. 2006).

En ytterst viktig faktor att ta i beaktande gällande tork- och värmetolerans hos träd är vid vilken tidpunkt exponeringen för den extrema värmen sker. Extrema temperaturer under lövsprickning kan leda till en reducerad kumulativ bladmassa, samt en negativ påverkan på kvarvarande gröna delars förmåga att utföra fotosyntesen. Detta kan leda till en signifikant reduktion av kolfixeringen hos trädets under säsongen och därmed en minskad tillväxt (Teskey et al. 2015). Samtidigt kan en tidig lövsprickning till följd av höga vintertemperaturer öka risken för skador orsakade av vårfrost. Ett fenomen som har kommit att ha förödande konsekvenser för stora arealer skog i bland annat Kanada (Heide 2003). Exponering för onormalt höga temperaturer sent under växtsäsongen kan också komma att påverka lövsprickningen året därpå hos vissa boreala arter. I en studie utförd på boreala trädarter (*Alnus glutinosa*, *Betula pubescens*, *Betula pendula*) där växtmaterial hämtades från olika breddgrader i Danmark och Norge, observerades en förskjutning av lövsprickning nästkommande säsong. Denna respons skulle alltså kunna förhindra att trädets slår ut för tidigt och drabbas av frostsador (Heide 2003).

Även om det till viss del går att konstatera skillnader i tork- och värmetolerans mellan olika arter, har studier snarare pekat på att det ofta snarare är *genotypen* som spelar in. Stora skillnader inom samma art har i vissa fall kunnat konstateras, där individer från en särskild proveniens har uppvisat bättre tolerans mot värme och torka. Det finns dock andra studier som gjorts på bland annat ek, vilken visade att individer från en varmare region (medelhavet) inte alls klarade av en värmebölja bättre än individer från ett betydligt svalare område (norra Europa) (Teskey et al. 2015).

2.3.3 Föroreningar

Föroreningar i mark och luft är inte i sig självt ett resultat av ett globalt förändrat klimat men i urbana miljöer är koncentrationen av utsläpp högre, vilket gör att förbränningen av den stora mängden fossila bränslen i urbana miljöer gör städerna till en stor bov i den globala uppvärmningen (United Nations u.å).

Luftföroreningar i form av avgaser och partiklar är något som inte bara påverkar människors hälsa, utan även växter, djur och hela ekosystem. Luftföroreningar från trafik och industri i urbana miljöer utgör en avsevärd stressor för stadens träd, men dess påverkan kan variera beroende på bland annat vad det är för partikel eller ämne, mängd, kontext (landskapsbild), väderförhållanden, men också art, individ samt vitalitet hos trädet i fråga (National Research Council 1989). Eftersom avgaser och luftburna partiklar i urban miljö heller inte utgörs av ett enda specifikt ämne blir komplexiteten enorm när det kommer till att utröna dess påverkan på vegetation och ekosystem (Grantz et al. 2003). Skillnader mellan olika arters förmåga att hantera föroreningar i mark och luft kan leda till obalans i ekosystem, där arter med en högre toleransnivå kan komma att bli mer dominerande när känsligare arter försvagas eller dör (Persson & Smith 2014). Lavar som lever på träd har visat sig vara generellt känsliga för luftföroreningar och bristen på lavar har därför kommit att bli en indikator för dålig luftkvalitet. Studier har visat att avsaknaden av lavar oftast är ett mer utbrett fenomen i urbana miljöer än i mer rurala miljöer, vilket tyder på att urbana ekosystem förlorar arter till följd av stress från luftföroreningar (Naturcentrum AB 2014). Dessa ekosystem blir som följd generellt sämre på att stå emot och återhämta sig från stress och störningar, såsom exempelvis sjukdomar eller väderextremer (Grantz et al. 2003).

Jordförhållandena i urbana miljöer är ofta starkt påverkade av olika föroreningar och gifter (Craul 1999; Persson & Smith 2014). Utsläpp från trafik, industri, dagvatten, bekämpningsmedel och konstgödsel är olika faktorer som kan få urbana jordar ur balans. Dessa olika aspekter leder till att mikrolivet i jorden påverkas, något som i allra högsta grad påverkar tillvaron för vegetationen (Craul 1999). Gifter och urlakning av tungmetaller till följd av förurning, i kombination med höga halter av vissa näringsämnen stör de jordlevande organismer som många gånger lever och verkar i symbios med växternas rötter. En brist på dessa marklevande organismer i urbana jordar hämmar upptaget av vissa näringsämnen och gör markförhållandena allmänt missgynnsamma för träd och andra växter (Persson & Smith 2014; Craul 1999).

2.3.4 Skadedjur och sjukdomar

Till följd av den globala uppvärmningen riskerar träd att utsättas för nya sjukdomar och skadedjur. Flera forskare (Porter et al. 1991; Ayres & Lombardero 2000) har påpekat att den stigande temperaturen kan leda till en geografisk utbredning av patogener. I sin tur leder denna utbredning av spridningsområde till en global ökning av antalet potentiella värdar för smittbärare. Evolutionen av olika patogener riskerar även att påskyndas vid högre temperaturer vilket kan leda till försvagad motståndskraft hos flera träddarter. Liknande utveckling kan även ses hos olika trädskjukdomar (Yang 2009). Det allt varmare klimatet med milda vintrar gör samtidigt att överlevnaden hos smittbärande skadedjur ökar (Porter et al. 1991; Ayres & Lombardero 2000). I kombination med människans globaliserade handelsmarknad och utökade transporter kan nya arter och organismer spridas än fortare och med annorlunda spridningsmönster än tidigare. Vid handel med exempelvis virke och växter är risken stor att oönskade och för trakten tidigare okända organismer följer med och sedan etablerar sig i nya habitat och ekosystem (Persson & Smith 2014; Rotherham 2016).

Det idag utbredda användandet av populära trädsorter och kloner drar dessutom ner den genetiska variationen i de urbana landskapen ytterligare, vilket ökar sårbarheten, då sjukdomar eller skadedjur kan komma att drabba dessa stora bestånd av likartat växtmaterial hårt. Många av de sorter och arter som används flitigt idag för sin friskhet, motståndskraft eller skönhet, kan alltså komma att visa sig bli kraftigt påverkade av framtidens klimat (Aitkin et al. 2008; Kendal & Baumann 2016; Persson & Smith 2014).

2.3.5 Övriga faktorer som påverkar trädens överlevnad i urbana miljöer

Sjöman et al. (2012a) skriver att ett väl anpassat växtmaterial är grunden i att lyckas med en långsiktigt hållbar plantering. En trädart som naturligt växer på platser där ståndorten är snarlik den som finns i staden har initialt bättre förutsättningar att överleva där, än en trädart som naturligt växer i rika skogsmiljöer, med gott om utrymme för rötter och god tillgång till näring och fukt. Även om det finns andra metoder för att underlätta livssituationen för trädet, såsom att satsa på växtbädd, stödbevattning och jordförbättring, kan dessa malplacerade trädarter sällan nå upp till sin fulla potential, utan blir hämmade i tillväxt och vitalitet. Resultatet blir bleka kopior av de naturligt förekommande förebilderna som förmodligen varit målbilden vid planering (Sjöman et al. 2012a). Ett

ståndortsanpassat växtmaterial är alltså en grundförutsättning för att uppnå långsiktiga och lyckade planteringar, men det finns såklart en hel del andra faktorer som kan vara helt avgörande gällande huruvida ett träd överlever eller inte. Komplexiteten går inte att bortse ifrån om framgång skall uppnås och en ökad medvetenhet hos planerare och skötselpersonal är således fundamental (Salmond et al. 2016).

Dränering, ont om plats för rötter, dålig jordkvalitet och ogenomträngliga hårdgjorda ytor är alla faktorer som påverkar vattentillgången för trädet. Detta i kombination med ökad evapotranspiration vid höga temperaturer gör att risken för vattenstress ofta blir betydligt mer påtaglig i urbana gatumiljöer än för ett träd som står i parkmark eller i en mer naturlig kontext (Sjöman et al. 2015bc). Under transplant- och etableringsfasen är träd extra känsliga för olika typer av stress, vilket också ökar dess mottaglighet för sjukdomar och skadegörare (Levinsson et al. 2014; Sjöman et al. 2015bc). Ett nyplanterat träd behöver god tillgång på vatten och näring direkt efter transplantering och sedan vidare under etableringsfasen, oavsett arttillhörighet (Deak Sjöman et al. 2015). Detta eftersom trädets rotsystem störs vid flytten, och då framförallt genom att kopplingen mellan vatten, näring och finrötter som byggts upp på platsen abrupt slits av. Nya rötter behöver således utvecklas på den nya platsen för att trädet skall kunna tillgodose sig dessa resurser på egen hand. Under tiden behövs bevattning för att hjälpa de befintliga rötterna ombesörja denna tillväxt och samtidigt hålla trädet vid liv (Levinsson et al. 2014). Ett välmående och välfungerande mikroliv i marken gör också att trädets utsikter förbättras. En förutsättning för att ett hälsosamt mikroliv över huvud taget skall kunna existera på en plats är dock att det finns tillgängliga spridningsvägar. Organismerna sprids med andra arter (djur, insekter) eller med vinden och för att detta skall kunna ske krävs en viss konnektivitet mellan olika grönområden och ekosystem (Persson & Smith 2014; Ordóñez Barona 2015).

Bild 7 & 8. Hårdgjorda miljöer kan skapa stressande situationer för träd och därmed påverka dess vitalitet.



2.4 VERKTYG FÖR KLIMATANPASSNING AV URBANA TRÄDBESTÅND

I följande kapitel kommer olika metoder och redskap som används idag vid förvaltning, utveckling och planering av urbana trädbestånd att behandlas. Ett träds livslängd spänner över lång tid, vilket gör det viktigt att kunna registrera och analysera den påverkan som klimatförändringarna har på befintliga individer. Kapitlet kommer att beröra hur artfördelning, strategier och målsättningar ser ut i olika städer runt om i världen, samt varför detta är en viktig del i hållbarhetstänket gällande urbana trädbestånd. Även olika förvaltningsmetoder, samt några exempel på utmaningar vid arbetet med träd i de urbana landskapen tas upp.

2.4.1 Trädinventeringar, grönstrukturplaner & trädplaner

I en tid då framtidsutsikterna gällande klimat och klimatförändringarnas konsekvenser är osäkra har debatten blossat upp kring de gröna värdena och dess påverkan på urbana livsmiljöer. Allt fler städer har fått upp ögonen för betydelsen av en välutvecklad urban grönstruktur och inte minst för urbana trädbestånd, då det på senare år blivit allt vanligare att prata om värdet av de ekosystemtjänster som dessa gröna inslag bidrar med till staden (Persson & Smith 2014; Raupp et al. 2006). Det positiva med detta är att allt fler städer ser till att skaffa en grönstrukturplan och även trädplan, som ett led i arbetet att utveckla hållbarhetstänket genom att bland annat bevara och främja biologisk mångfald och på så vis fortsätta kunna ta del av viktiga ekosystemtjänster. En ökad vilja att agera går därmed att urskilja på många platser, men många gånger blir komplexiteten i problemen tydlig i utförandefasen, då många grönstrukturplaner saknar konkret underlag i form av inventeringar och dylikt som behövs för att kunna ta fram framgångsrika planterings- och skötselplaner (Ordóñez Barona 2015).

Trädplaner och trädvårdsplaner är dokument som är väsentliga vid förvaltning av träd och trädbestånd som innehåller långsiktig vägledning för förvaltaren (Östberg et al. 2015). Trädplanen innehåller mer övergripande riktlinjer medan trädvårdsplanen innehåller desto mer detaljerad information gällande skötsel. För att kunna ha en överblick och förvalta urbana trädbestånd på bästa sätt, och vidare skapa förtjänstfulla trädplaner och trädvårdsplaner, är det nödvändigt att genomföra en trädinventering. En trädinventering är ett viktigt redskap som kan identifiera ett trädbestånds potential, eventuella risker och åtgärdsbehov (Östberg et al. 2015). Problem kopplade till nya trädsjukdomar och en alltmer utbredd

smittspridning har lyft intresset de senaste decennierna hos städer och kommuner att arbeta mer med trädinventeringar, för att lättare kunna lokalisera och hantera spridningen (Raupp et al. 2006). Ny teknik gör det även möjligt att använda flera olika inventeringsmetoder (t.ex. satellit- eller flygplansbaserade metoder), samtidigt som datan som samlas in används med högre komplexitet idag än tidigare. Detta genom att grundläggande populationsjämförelser används som grund i mer komplicerade beräkningar (Kendal & Baumann 2016; Östberg et al. 2015). Lanseringen av inventeringsverktyg likt i-Tree 2006, som även kalkylerar samhällsnyttan av ett träd genom att exempelvis sätta ett ekonomiskt värde på de ekosystemtjänster det bidrar med, har påverkat vilka parametrar som används vid inventering framförallt i USA, men även internationellt (Östberg et al. 2015; U.S. Forest Service u.å).

Både innehåll och ambitionsnivå gällande trädplaner och inventeringar skiljer sig åt mellan städer. Östberg et al. (2015) skriver att det är viktigt att ett tydligt syfte och mål upprättas inför en trädinventering, som relaterar till vad den slutgiltiga datan skall användas till. Baserat på till exempel en kommun eller stads storlek, organisation eller skötselnivå, kan syftet med en trädplan variera, därför behöver inte nödvändigtvis själva trädinventeringen vara lika komplex eller omfattande överallt, menar Miller et al. (2015). Kommunala trädinventeringar i Nordamerika genomförs huvudsakligen av ekonomiska skäl, i syfte att kunna sätta ekonomiska värden på stadsträden, men även för att kunna belysa de sociala och miljömässiga förmåner som träden bidrar med (Keller & Konijnendijk 2012). Syftet med trädinventeringar i Skandinavien handlar huvudsakligen om förvaltningsfrågor, såsom kartläggning av trädens hälsa för att kunna göra riskbedömningar, planera beskärning och annan fortlöpande skötsel (Keller & Konijnendijk 2012; Wiström et al. 2016).

2.4.2 Strategier och målsättningar

I följande kapitel kommer exempel på strategier och målsättningar kopplade till urbana trädbestånds släktes- och artdiversitet från ett antal olika städer att presenteras. Ett något större fokus läggs på Melbourne, eftersom denna uppsats längre fram tar upp och studerar den forskningsmetod som använts på deras trädbestånd. Även Malmös strategier och målsättningar presenteras relativt ingående, för att ytterligare kartlägga vilket underlag som finns tillgängligt i staden.

Melbourne har enligt egen utsago en betydande och omfattande trädstrategi baserad på en trädinventering innehållande trädhälsa, artsam-



Bild 9. Ett utbrett krontak bidrar till att sänka temperaturen och minska värmeö-effekten.

mansättning, krontäckning och förväntad livslängd. Med hjälp av denna data syftar de till att på bästa sätt kunna hantera befintlig vegetation och vägleda utvecklingen av urbana trädbestånd (City of Melbourne 2014).

Vad gäller krontäckningsgrad har Melbourne en väldigt ambitiös målsättning. I dagsläget ligger krontäckningen på 22%, med en målsättning att utöka den siffran till 40% fram till år 2040. I trädstrategin hänvisar de till en studie om UHI som tidigare utförts i staden, som rekommenderar ett minimum på 30% krontäckning som den mest kostnadseffektiva strategin för att mildra UHI-effekten (City of Melbourne 2014). Därav lägger de högre prioritet på att utöka krontäckningsgraden än att enbart öka antalet träd i staden (City of Melbourne 2014). I Malmö ligger denna målsiffra på 25%, så även i London och i flera nordamerikanska städer (Malmö stad 2017b). Vancouver, som även de har anser sig ha höga ambitionsmål vad gäller grönstrukturen, bland annat att bli världens grönaste stad, har som mål att utöka krontäckningsgraden från dagens 18% till 22% till år 2050 (City of Vancouver 2018).

I syfte att öka mångfalden av arter har Melbourne i sin trädstrategi satt målsiffror som innebär att det urbana trädbeståndet bör innehålla max 5% av en art, max 10% av ett släkte och max 20% av en familj (City of Melbourne 2014). Detta motsvarar de siffror som flera forskare presenterat som riktmärken i arbetet för en ökad resiliens hos urbana trädbestånd (Raupp et al. 2006; Sjöman et al. 2012b). Vissa forskare har dock lagt siffror både högre och lägre, som bland andra Santamour (1990), vars "10-20-30"-regel används i Vancouver. Denna rekommendation innebär att en trädpopulation inte bör innehålla mer än 10% av en art, inte mer än 20% av ett släkte och högst 30% av en familj (Santamour 1990; City of Vancouver 2018). Denna typen av strategiska rekommendationer gällande diversifiering i trädbestånden är viktiga riktlinjer, då målsättningen är en mer mångsidig användning av trädarter i urbana miljöer (Sjöman et al. 2012b). Riktlinjerna säkerställer en artmångfald som indirekt hjälper

till att skydda trädpopulationer mot sjukdomsspridning och större attacker från smittspridande insekter (Santamour 1990; Raupp et al. 2006).

Enligt en studie som Sjöman et al. (2012b) genomförde 2012, gällande artdiversiteten hos det urbana trädbeståndet, baserat på trädinventeringar, i städer runt om i norra Europa och däribland Malmö, kunde några populära släkten och arter urskiljas. *Sorbus* var det vanligaste släktet i Malmö, tätt följt av *Tilia*. *Prunus* och *Acer* var två andra ytterst populära släkten (se tabell 1). De vanligaste arterna var *Sorbus intermedia* och *Tilia x europaea*. I gatumiljö blev efter almarnas uttåg *Tilia x europaea* det i särklass vanligaste trädet med hela 16,5% (Sjöman et al. 2012b). Studien byggde på inventeringar av knappt 49 000 träd i Malmö.

Mot slutet av 2019 bestod Malmö stads trädbestånd av drygt 75 000 träd (Malmö stad 2019d). Sedan Sjöman et al. (2012b) publicerade sin studie 2012 har det enligt den aktuella trädinventeringen planterats över 11 000 nya träd runt om i staden (Malmö stad 2019d). Samtidigt som en hel del träd försvunnit till följd av till exempel sjukdomar och hög ålder under dessa år, så tycks tillskotten, i kombination med ett mer komplett inventeringsunderlag, peka på en viss förändring inom artfördelningen hos stadens trädbestånd. Idag utgör släktet *Sorbus* en nästan fyra procent lägre andel av stadens träd och för släktet *Tilia* syns en liknande förändring (se tabell 1). Cirka 5000 av alla träd i Malmö 2019 är en *Sorbus intermedia*, medan ungefär 4800 träd är en *Tilia x europaea*. Noterbart är att släktet *Acer* gått om *Tilia* fram till 2019 (Malmö stad 2019d). Många av de släkten som än idag hör till de vanligaste i staden är alltså släkten som i naturen i huvudsak hör hemma på näringsrika och friska ståndorter (Sjöman et al. 2012a), något som under de senaste varma och torra somrarna konkret visat sig ha stor betydelse för hur träden mår och ser ut.

Tabell 1: Fördelningen av de vanligaste släktena och arterna i Malmö 2012 respektive 2019

Vanligaste släktena i Malmös trädbestånd 2012*	Vanligaste släktena i Malmös trädbestånd 2019*	Vanligaste arterna i Malmös trädbestånd 2012*	Vanligaste arterna i Malmös trädbestånd 2019*
<i>Sorbus</i> (14%)	<i>Sorbus</i> (10,6%)	<i>Sorbus intermedia</i> (9,1%)	<i>Sorbus intermedia</i> (6,7%)
<i>Tilia</i> (13,3%)	<i>Acer</i> (9,9%)	<i>Tilia x europaea</i> (8,6%)	<i>Tilia x europaea</i> (6,4%)
<i>Prunus</i> (8,7%)	<i>Tilia</i> (9,7%)		
<i>Acer</i> (8,7%)	<i>Prunus</i> (8,2%)		

*Procentandel av det totala inventerade kommunala trädbeståndet. Källa: Malmö stad 2019c; Sjöman et al. 2012b

Melbournes trädbestånd på över 70 000 träd domineras framförallt av släktet *Eucalyptus*, men även *Platanus*, *Ulmus* och *Corymbia*. Många av dessa träd planterades vid ungefär samma kondenserade planteringsperiod. Detta har lett till att ett stort antal av framförallt plataner och almar börjar närma sig slutet på sin livslängd. Upp emot 50% av almarna (av ca 5900) beräknas ha max 10 år kvar att leva (City of Melbourne 2016). *Eucalyptus camaldulensis* som är den mest förekommande arten bland *Eucalyptus*-släktet, utgör hela 12% av den totala trädpopulationen (Kendal & Baumann 2016). Denna art, tillsammans med samtliga andra arter inom familjen *Myrtaceae*, där bland annat *Eucalyptus* och *Corymbia* ingår riskerar att bli angripna av så kallad "Myrtel-rost" (*Uredo rangelii*) som sprider sig i Melbourne. Stadens många plataner hotas även de, framförallt av stigande temperaturer och extrem hetta, men också av nätskinnsbaggen "*Sycamore lace bug*" som etablerat sig i Australien och orsakar gallbildningar, samt andra sjukdomar. Då trädbeståndet i Melbournes innersta stads kärna utgörs till 75% av plataner skulle svåra utbrott av skadedjur eller patogener generera stora visuella och miljö/klimatmässiga förluster, samtidigt som värmeö-effekten skulle förvärras (City of Melbourne 2016).

I en undersökning av artdiversiteten hos trädbestånd i ett urval av östra Nordamerikas städer 2006 kunde det konstateras att bestånden dominerades av släktena *Acer* och *Fraxinus* (Raupp et al. 2006). Även *Quercus* var mycket vanlig. Om skadedjur som den asiatiska långhornade skalbaggen (*Anoplophora glabripennis*) och smaragdgröna asksmalpraktbaggen (*Agrilus planipennis*) etablerar sig i dessa miljöer är risken för förödande effekter på de urbana trädbestånden överhängande. I vissa fall skulle så mycket som 50% av gatuträden gå förlorade eller åtminstone behöva skyddas om dessa skadedjur spred sig (Raupp et. al 2006).

Melbournes trädbestånd präglas till stor del av de ideal som rådde vid tiden för stadens grundande (mitten till slutet av 1800-talet). Populära karaktärsarter som användes flitigt i Europa vid tiden planterades in (därför blev London-platanen det absolut vanligaste trädet i staden). Detta innebär dock att många av de arter som till följd av detta idag återfinns i staden normalt hör hemma på kyligare breddgrader och alltså redan idag till viss del är dåligt anpassade för det klimat som råder i Melbourne (Kendal & Baumann 2016; City of Melbourne 2014). Även en del inhemska arter såsom *Eucalyptus* uppmärksammades för sin hälsofrämjande förmåga, detta då samtiden bjöd på utbredda sanitära brister och extrem sjukdomsproblematik i storstadsregioner och folkhälsan dalade. Idag är det som tidigare nämnt fortfarande ett av de vanligaste släktena i Melbournes trädbestånd (City of Melbourne 2014). Det är dock ett släkte inom vilket det har visat sig att en stor del av arterna har ytterst snäva toleransnivåer när det kommer till temperaturförändringar. En-

dast en förändring i årsmedeltemperatur på ett par tre grader kan göra att dessa arter inte längre trivs (Hughes 2003). De rådande trenderna inom stadsplanering bidrog i sin tur också till hur planteringarna såg ut, bland annat genom att staden fylldes av långa avenyer med rader av träd av samma art och ålder, vilket idag har blivit en stor del av Melbournes identitet (City of Melbourne 2014).

En stor anledning till den låga artdiversitet som råder idag i Melbourne är att en väldigt stor del av trädbeståndet planterades under andra halvan av 1800-talet, med de då rådande rönen och trenderna som mall. Detta har gjort att trädbeståndet blivit väldigt monotont även gällande ålder och att stora delar av stadens träd börjar åldras. Att ta bort och ersätta uppvuxna gamla träd är sällan varken ekonomiskt gångbart eller heller direkt önskvärt så länge trädet i fråga är vitalt. Stora och gamla träd bidrar som bekant med viktiga ekosystemtjänster som heller inte yngre träd genererar på samma sätt (City of Melbourne 2014).

Liknande problematik uppdagades som tidigare nämnts även i Malmö efter att almsjukan tvingade staden att ta bort en stor del av de äldre träden (Malmö stad 2019c). Behovet av att skapa en identitet genom karaktärsträd gjorde att just almen blev Malmös karaktärsträd i början av 1900-talet och därför det genomgående huvudträdslaget både i parker och i gatumiljöer (Malmö stad 2005). Vid almsjukans utbrott på 80-talet bröts denna trend. Det var dock tidigare, under senare delen av 1800-talet som bland annat begreppet ”Malmö - parkernas stad” myntades och ett förnyat intresse för att utveckla trädbeståndet spred sig, då starkt influerat av dåtidens europeiska trender. De första stora parkerna anlades och tack vare goda kontakter med grannländer och övriga Europa importerades exklusiva trädarter som pagodträd, gudaträd och kejsarträd, som finns kvar än idag. Mängden ovanliga trädsorter var och är typiskt för Malmös äldre parker, i kombination med andra typiska träd som bok, pil, poppel och alm. Det var framförallt under 1960- och 70-talet som en stor del av Malmös parker och grönområden anlades, som i efterhand har kritiserats för sin omänskliga skala och monotona utformning. Växtmaterial i både parkmiljöer och gaturum dominerades av snabbväxande arter såsom pil, poppel och alm för att snabbt kunna skapa grön volym. På grund av bristande resurser hos lokala plantskolor importerades en stor mängd träd, som många visade sig vara av dålig kvalitet – både vad gäller framodling och härkomst. Lättodlade och kortlivade arter av pil och poppel användes i stor skala vilket parkerna från denna tid bär synliga bevis på (Malmö stad 2005). Sedan dess har dock arbetet med att bredda artdiversiteten förbättrats, men problematiken och konsekvenserna efter de monotona trädplanteringarna under 1900-talets mitt består, i form av stora bortfall av äldre träd och eventuella risker för sjukdomsspridning (Malmö stad 2017b).

2.5 FORSKNINGSMETODER FÖR KLIMAT-ANPASSNING AV URBANA TRÄDBESTÅND

I följande kapitel kommer ett antal olika forskningsmetoder som använts i studier angående klimatanpassning av urbana trädbestånd att presenteras. Studierna är utförda i olika städer runt om i världen, med många gånger liknande bakomliggande syfte och mål, om än med något skiftande metodik. Innehållet i varje studie jämförs med de andra, för att uppmärksamma styrkor, svagheter, likheter och olikheter i deras metod. Kapitlet avslutas med en tabell som jämför studiernas metod och innehåll sida vid sida för en tydligare överblick. Brister och insikter som forskarna kommit fram till under arbetets gång berörs också.

Det som framkommit i litteraturstudien som mest kritiska faktorer för träd i relation till klimatförändringar ligger till grund för den undersökning som gjorts av respektive studie. Huruvida metoderna behandlar dessa är högst relevant för att vidare kunna avgöra hur deras resultat skall tolkas. I punktlistan sammanfattas här de viktigaste aspekterna som lyfts fram i litteraturstudien gällande urbana träds fortlevnad i ett förändrat klimat. Dessa ligger senare till grund för den tabell-jämförelse som görs i det avslutande avsnittet i detta kapitel.

- Temperatur - olika aspekter av temp: ex. medel, min-, max, men också mikroklimat
- Nederbörd
- Vind
- Extrema väderförhållanden - t.ex. värmeböljor, torka, skyfall
- Sjukdomar och skadedjur
- Föroreningar
- Styrdokument eller strategier baserade på utförd trädinventering
- Skötsel & förvaltning

2.5.1 Climate envelopes

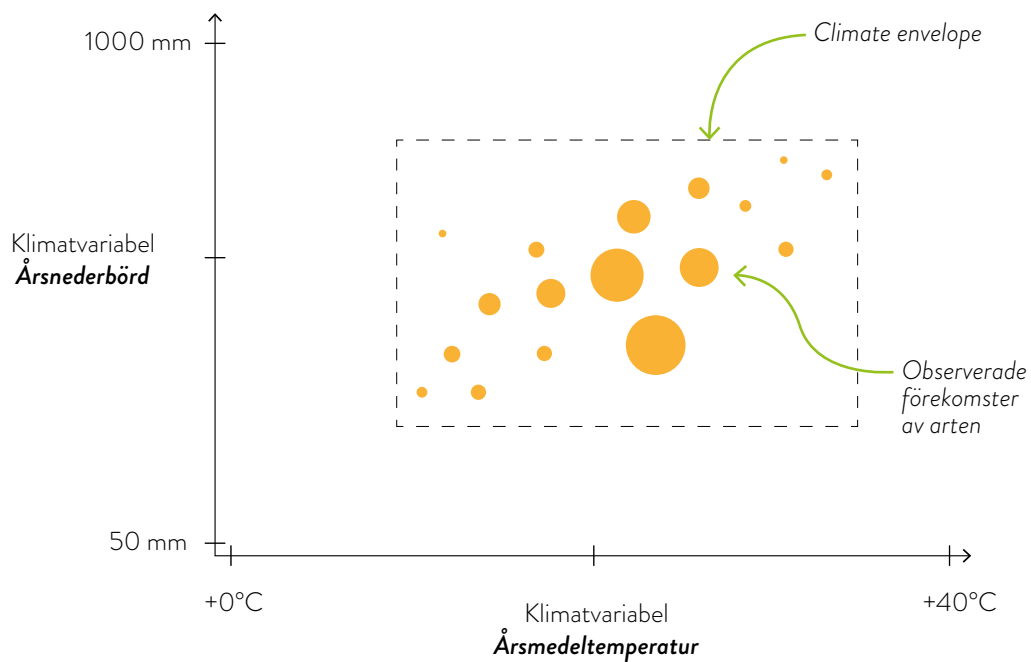
Några av de studier som granskats i denna uppsats har använt sig av olika databaser med träd- och artfakta i kombination med prognoser och data om framtida klimat, framförallt temperatur och då oftast avseende årsmedeltemperatur, min- och maxtemp. Det vill säga olika typer av mått på lufttemperatur. Denna data har sammanställts för att generera så kallade *climate envelopes* för olika trädarter (se figur 1 och 2). På detta sätt identifieras olika arters förmodade tolerans gentemot stigande medeltemperaturer och/eller andra klimatparametrar. Två studier som använt sig av denna metod är Kendal & Baumann (2016) i Melbourne, samt Yang

(2009) i Philadelphia. I Melbourne, Australien, var målet både att identifiera nya, bättre anpassade arter att använda i stadsmiljön i det klimat, framförallt den medel- min- och maxtemperatur, som spås råda där i framtiden. Målet var också att identifiera sämre anpassade arter som idag redan förekommer i staden och som kan tänkas komma att få problem i framtiden (Kendal & Baumann 2016). För att ta reda på olika trädarters plasticitet eller resiliens mot ett visst klimat valde forskarna i det här fallet att använda sig av globala träd- och klimatdata, där trädarters distribution över jordklotet kunde sättas i relation till olika typer av klimat som liknade det klimat som Melbourne spås få uppleva i framtiden. Detta både för att kunna undersöka Melbournes nuvarande trädbestånds förmåga att hantera stadens framtida klimat, men också för att identifiera nya arter, lämpade att komplettera och bredda det befintliga sortimentet (Kendal & Baumann 2016).

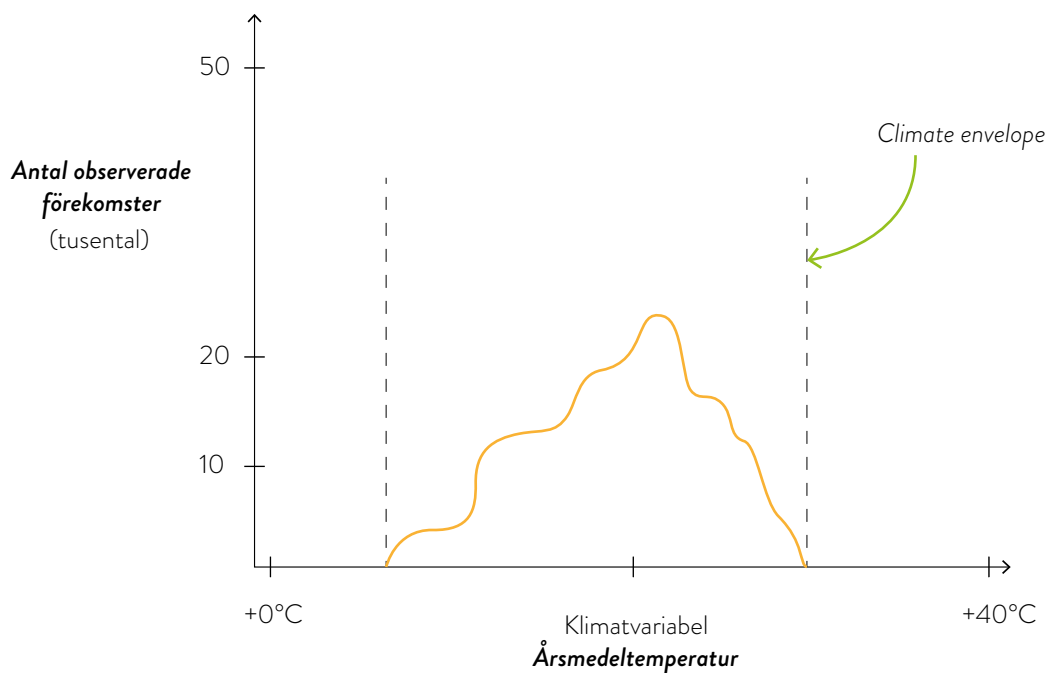
Studien i Philadelphia, USA, (Yang 2009) hade liknande mål, men med ett mer lokalt fokus. Stadens dåvarande trädbestånd och dess tolerans inför en temperaturhöjning studerades, men utan något speciellt fokus på att identifiera nya potentiella arter från andra delar av världen. *Climate envelopes* för 73 utvalda arter (bland Philadelphias mest förekommande) togs fram, baserade på sex olika bioklimatiska indikatorer: årsmedeltemperatur, min- och maxtemperatur, årsnederbörd, nederbörd under varmaste- respektive kallaste kvartalet. Denna information hämtades i huvudsak från dendrologisk litteratur och tillgänglig offentlig data. Samtidigt lades även ett visst fokus på att bedöma i vilken utsträckning klimatförändringarna kan komma att påverka biologin hos patogener och skadedjur (Yang 2009).

I båda studierna har *climate envelopes* byggts på utsläppsscenarier motsvarande låga respektive höga utsläpp av växthusgaser. I Melbourne (Kendal & Baumann 2016) har IPCC:s 4.5 respektive 8.5 RCP-scenarier använts, medan Yang (2009) istället använt äldre scenarier, A2 och B2, som IPCC presenterade år 2000. I båda studierna har dessa kompletterats med lokala klimatprojiceringar.

I Melbourne använde sig forskarna av *The Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), en databas om biologisk mångfald som innehåller uppgifter från 650 miljoner registrerade förekomster av 1.5 miljoner arter globalt (GBIF u.å; Kendal & Baumann 2016). Enligt rapporten har totalt 4 miljoner observationer av de aktuella arterna legat till grund för analys. Ytterligare en uppsättning data över urbana trädinventeringar samlades manuellt in från drygt 400 städer där dess innehåll hade publicerats i akademiska artiklar och regeringsrapporter. Städernas geografiska läge användes för att kunna avgöra årsmedeltemperaturen på de platser



Figur 1. Exemplifiering av hur ett så kallat climate envelope, innefattande 2 olika klimatvariabler, kan se ut.



Figur 2. Exemplifiering av hur ett climate envelope, innefattande enbart 1 klimatparameter samt förekomst, kan se ut.

Figurerna är omarbetade från Kendal & Baumann (2016) samt Polly & Eronen (2011)s modeller. De schematiska uppställningarna är enbart riktgivande.

där dessa urbana träd förekom (Kendal & Baumann 2016). På denna data applicerades sedan algoritmen BIOCLIM, en uppsättning av flera klimatparametrar, såsom temperatur eller nederbördsvärden. I Melbourne-studiens slutgiltiga analys har endast en variabel använts; BIOCLIM1, vilken baseras på årlig medeltemperatur. Kendal et al. (2012) menar att den årliga genomsnittstemperaturen är en klimatvariabel som har stor betydelse för naturlig utbredning av trädarter globalt. Samtidigt går det att ifrågasätta appliceringen av naturlig utbredning i relation till årsmedeltemperatur på en urban miljö, där många andra parametrar i stadsrummen visat sig påverka den upplevda temperaturen starkt (Salmond et al. 2016; Matzarakis 2007; Thorsson et al. 2007). Nederbörd exkluderades som parameter, eftersom prognoser och tydliga mönster ofta är mycket osäkra. Dessutom innebär den urbana situationen att just vattentillgång är någonting som i hög grad kan komma att påverkas av mänskliga ingrepp, såsom bevattning, eller andra platsspecifika faktorer och därmed inte skulle kunna fungera som en bra art-eliminering faktor (Kendal & Baumann 2016).

För att kartlägga information rörande min- och maxtemperatur kompletterades uträkningen med datasetet HadEX2, som tillhandahåller ett rutnät av stationsbaserade index. Denna data innehåller utförligare information i urbana områden där koncentrationen av väderstationer är högre (Kendal & Bauman 2016). Temperaturintervall för varje art identifierades genom att globala förekomster hämtades via GBIF-databasen som tillsammans med urbana trädinventeringar matchats mot BIOCLIM och HadEX2 variabler för de GPS-positioner där arten registrerats. Diagram sammanställdes genom att ställa alla kända förekomster av arten i förhållande till ett temperaturintervall över dessa. Samtidigt matchades denna information mot Melbournes klimatprognoser, varpå ett så kallat *climate envelope* skapades för varje art (Kendal & Baumann 2016).

Information gällande *climate envelopes* för respektive art som undersöktes i Philadelphia hämtades från tidigare forskning, litteratur och tillgänglig offentlig data (Yang 2009). Detta resulterade dock i att det blev svårt att hitta likvärdig information om alla studerade arter, eftersom informationen fick hämtas från olika källor, med skiftande aktualitet och detaljeringsgrad. För några av arterna, framförallt prydnadsträd, var det svårt att med denna metod få fram tillräckligt med information för att kunna ta fram lika omfattande *climate envelopes* som för de mer naturligt förekommande arterna.

Parallellt med analysen av träd studerades det i Philadelphia även klimatförändringarnas potentiella påverkan på olika typer av sjukdomar och skadedjurs etablering (Yang 2009). 20 stycken skadedjur och trädskado-

mar utvärderades kvalitativt med hjälp av en tidigare utvecklad metod av Boland et al. (2004). Utifrån denna studie kunde det utläsas hur många av dessa som förväntades minska, fortsätta sin spridning på samma nivå, alternativt bli allvarigare i sin utbredning (Yang 2009).

2.5.2 Space-for-time

En annan typ av metod, den så kallade *space-for-time*-metoden, användes vid en studie i Kalifornien i västra USA (McBride & Laćan 2018). Denna metod fokuserade likt Yangs (2009) enbart på att undersöka det befintliga trädbeståndets resiliens gentemot kommande klimatförändringar. Här studerades de vanligast förekommande arterna bland gatuträd i städer representativa för var och en av Kaliforniens 16 klimatzoner. I likhet med *climate envelope*-studien från Melbourne (Kendal & Baumann 2016), användes här enbart klimatparametern temperatur som underlag för analys. Klimatprojektioner baserade på IPCC:s utsläppsscenarier togs fram för samtliga 16 städer, men istället för att ta fram så kallade *climate envelopes* för olika arter så jämfördes klimatprojektioner städerna emellan, för att identifiera städer med ett nuvarande klimat som kunde klassas som representativt för det framtida klimatet hos en annan stad år 2099. Då fokus handlade om att urskilja träd som skulle kunna överleva den stigande temperaturen i Kalifornien, studerades enbart maximalvärden vid denna jämförelse (tabell 2). Den genomsnittliga högsta lufttemperaturen som mellan år 1961-1990 uppmäts under juli månad (årets varmaste) i respektive stad jämfördes med framtida prognoser för samma siffra. Minimivärden eller medeltemperatur har alltså inte tagits med. Vidare studerades trädbestånden i de båda städerna, för att på så sätt kunna urskilja arter som spås överleva eller prestera sämre allteftersom klimatet blir varmare och torrare. Forskningen kompletterades med professionella åsikter, vilket innebar att verksamma och kunniga yrkesmänniskor inom hortikulturen fick komma med kommentarer kring resultatet baserat på deras erfarenheter rörande stadsträd och deras prestation (McBride & Laćan 2018).

2.5.3 Fältstudie

I Kalifornien genomförs det även en annan typ av forskning, I Central Valley, där forskare identifierar och utvärderar potentialen hos arter som i dagsläget används mer sällan i stadsmiljö, men som skulle kunna vara användbara i framtidens klimat (McPherson et al. 2018). Detta gör att studien likt Melbourne-studien (Kendal & Baumann 2016) har ett huvud-

fokus på att identifiera nya potentiella arter för ett framtida klimat, istället för att enbart utvärdera ett befintligt bestånd. Däremot har fler klimatparametrar används i Central Valley-studien, då klimatmodellerna som använts inkluderat både temperatur (årsmedel, min och max), nederbörd och vind. Studien består av en systematisk process i fem steg, framtagen för att utvärdera prestandan hos lovande trädarter för framtida klimat, en metod som kan tillämpas internationellt.

Stegen innebär i korthet;

1. Utvärdera klimattrender och exponeringar (troliga klimatförhållanden träden kan uppleva i framtiden – ta fram klimatprojektioner med hjälp av olika databaser)
2. Identifiera lovande arter (hortikulturella experter/professionella inom ämnet)
3. Betygsätt/utvärdera arter och välj ut “finalister”, genom poängsättning utifrån olika SAVS-kriterier/parametrar (se nedan) och expertutlåtanden
4. Plantera och utvärdera i experimentella områden
5. Dela med sig av resultat för att uppnå förändring

Dessa steg har sedermera flera detaljerade underrubriker och steg (McPherson et al. 2018).

För att identifiera nya, potentiella arter ombads 20 experter inom hortikultur, både akademiker och praktiker, med god kunskap om området att komma med förslag. Deras förslag sammanställdes och sattes i relation till inventeringar så att det skulle gå att välja ut de arter som idag inte används i särskilt stor utsträckning, men som skulle kunna vara framgångsrika i ett framtida klimat. Träden utvärderades utifrån bland annat risk för invasivitet, hårdighet och tolerans för salt med hjälp av *System for Assessing Vulnerability of Species* (SAVS), som är ett verktyg för att identifiera den relativa resiliensen hos arter gentemot klimatförändringar. De slutgiltigt utvalda träden planterades ut 2015 både i parkmark och på särskilda referensplatser. Träden som planterades på referensplatserna erhöll en jämn och likartad skötselnivå, medan träden i parkmark kan komma att erfara variation i skötselnivå, beroende på faktorer såsom ekonomiska nedskärningar i den kommunala verksamheten, personalomsättning och liknande. På detta sätt testas trädens känslighet för olika typer av potentiella stressorer. Projektet med utplanteringarna startade 2015 och kommer pågå 20 år framöver (McPherson et al. 2018).

Studien använder ett omfattande utvärderingsunderlag, där många avgörande klimat- och toleransparametrar vägs in, även om det föreligger en viss osäkerhet gällande en del av de prognoser som använts (såsom

vind- och nederbördsprognoser). Slutsatser är emellertid inte dragna direkt utifrån det osäkra prognosunderlaget, utan det figurerar endast som underlag för det urval av arter som sedermera utvärderas vidare gällande dessa parametrar även i fält, fortlöpande under åtminstone 20 års tid (McPherson et al. 2018).

2.5.4 Sårbarhetsstudie

Så kallade professionella expertutlåtande har även använts i en kanadensisk studie av Ordóñez & Duinker (2015), där de genomfört en jämförande analys i tre kanadensiska städer med olika typer av klimatprognoser och karaktär på trädbestånd; Halifax (Nova Scotia), Saskatoon (Saskatchewan) och London (Ontario). Huvudfokus låg där i att utvärdera de urbana trädbeståndens sårbarhet inför klimatförändringar i relation till förvaltning. Med argument för att denna typ av sårbarhet bäst analyseras lokalt utvärderade studien med hjälp av lokala expertutlåtanden de tre urbana trädbeståndens sårbarhet gentemot klimatförändringar. Detta snarare än att ha ett starkt fokus på analys av globala databaser och algoritmer, som i flera av de andra metoderna (Kendal & Baumann 2016; Yang 2009). Expertpanelen inkluderade kommunala skogsbrukare, arborister, stadsplanerare, landskapsarkitekter, personal från miljö-, hälso- och utbildningsavdelningar, akademiker med expertis inom skogsekologi och klimatförändringar och medlemmar i icke-statliga miljöorganisationer specialiserade på parker och vattenvägar. Denna typen av utvärdering är tänkt att hjälpa till att: identifiera de mest sårbara elementen i ett system; varför dessa element är sårbara; identifiera områden för framtida forskning och slutligen ge information om var resurser bör läggas gällande anpassning. Målet för den aktuella studien var också att ge en empirisk grund för liknande undersökningar. Lokala aktörer gjorde sedermera bedömningar, samtidigt som forskarna bidrog med ramverk för att underlätta och precisera processen.

Identifiering har gjorts av:

1. Element av exponering (samtliga som tas upp: rikliga regnmängder som orsakar översvämningar, rikliga mängder snö i "mellansäsong", kumulativ flerårig torka, dagar över 35°C, iskallt (*freezing*) regn, högre temperatur överlag, högre temperatur under vintern, ökad vind, heta och fuktiga somrar, ökade luftföroreningar, minskat regn & lägre markfuktighet, utebliven snö, längre/kortare växtsäsong, varierande temperatur & luftfuktighet under mellansäsong)
2. Känslighet inför klimatförändringar (t.ex. ålder, fenologi, nuvarande ståndort eller habitatpreferens hos arter)

3. Typen av förväntad påverkan (t.ex. ökad dödlighet, tillväxt eller mottaglighet av skadedjur, alternativt risk för invasivitet)
 4. Den anpassningskapacitet som finns baserat på tillgängliga styrdokument (t.ex. bevattningsprogram, strategier för utfasning av en viss art eller diversifiering av arter)
- (Ordóñez & Duinker 2015).

Bedömningar har i grunden utgått från framtida prognoser om medeltemperatur, uppdelad på vinter respektive sommarhalvåret samt nuvarande och framtida årliga nederbördsmängder (Ordóñez & Duinker 2015). Delvis baserat på dessa har framtida element av exponering lyfts fram, se punktlistan ovan. Med argument för att framtida väderprognoser är väldigt osäkra (IPCC 2013) har det i denna metod antagits att framtida temperatur- och nederbördsvärden kommer ligga runt extremvärdena. Till exempel: elementet "dagar över +35°C" avser ett extremt temperaturvärde snarare än en generisk ökning.

Samtliga element av exponering har vidare analyserats kvalitativt av expertpanelen huruvida vilka av dessa som tros orsaka störst påverkan på det urbana trädbestånden i respektive stad, samt hur den förväntade påverkan kommer att kunna se ut. Undersökningen har genererat slutsatser gällande huruvida städerna har tillräckligt bra anpassningsförmåga och strategier i form av styrdokument, skötselprogram eller liknande och kan också ligga till grund för vidare forskning (Ordóñez & Duinker 2015).

2.5.5 Jämförelse av metoder

I tabell 2 nedan ställs de undersökta metoderna och dess innehåll vid sidan av varandra för en tydligare överblick. Här sammanställs huruvida metoderna avhandlar de parametrar som tidigare berörts i uppsatsen, men också andra utmärkande faktorer och innehåll i respektive studie. Tabellen är en grov jämförelse som inte skildrar i vilken utsträckning eller på vilket sätt parametrarna avhandlas. Även om två studier avhandlar nederbörd, så påverkas såklart i slutändan resultatet även av *hur* denna parameter avhandlas. Exempelvis har *Space-for-time*-metoden enbart studerat maxtemperatur under den varmaste månaden, medan *climate envelope*-metoden använder både min- och maxtemperatur, men över hela året.

Har slutsatser i studierna dragits huvudsakligen utifrån databaserade prognoser och tillgängliga fakta (t.ex. från globala databaser eller publicerad data) har dessa markerats som kvantitativa, medan de studier som lägger större vikt på professionella åsikter och sociala värden har markerats som kvalitativa. Vissa studier har emellertid använt sig av en kombination och har då markerats som både kvantitativa och kvalitativa.

Tabell 2: Jämförelse av undersökta metoder för klimatanpassning

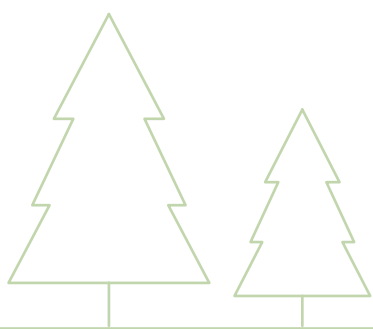
Metod → ----- Parameter ↓	Climate envelope (Kendal & Baumann 2016)	Climate envelope (Yang 2009)	Space-for-time (McBride & Lačan 2018)	Fältstudie (McPherson et al. 2018)	Sårbarhetsstudie (Ordóñez & Duinker 2015)
Årsmedel. temp.	x	x		x	x
Min-max temp.	x	x	x	x	x
Nederbörd		x		x	x
Extrema väderförhållanden				(x)	x
Värmesumma/växtsäsong				x	x
Lokaltemperatur/ mikroklimat				x	
Undersöker arters globala förekomster	x	x			
Vind				x	x
Föroreningar				(x) (salt)	x
Markförhållanden, jord/växtbädd				x	x
Befintliga arter	x	x	x		x
Nya arter	x			x	
Sjukdomar/skadedjur		x		(x)	x
Kvantitativ	x	x	(x)	x	

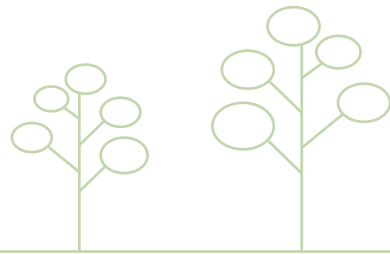
Forts. Tabell 2: Jämförelse av undersökta metoder för klimatanpassning

Metod → ----- Parameter ↓	Climate envelope (Kendal & Baumann 2016)	Climate envelope (Yang 2009)	Space-for-time (McBride & Laćan 2018)	Fältstudie (McPherson et al. 2018)	Sårbarhetsstudie (Ordóñez & Duinker 2015)
Kvalitativ			x	x	x
Pågår och utvärderar under en längre period				x	
Biologiska interaktioner/ invasivitet				x	
Skötsel/förvaltning				x	x

Det som blir tydligt i denna jämförelse är att *fältstudien* (McPherson et al. 2018) är den metod som berör flest parametrar och resulterar därav i ett bredare spektra av information, vilket kan resultera i ett mer pålitligt och praktiskt tillämpbart resultat. Samtidigt innebär detta att den blir både tidskrävande och resurskrävande att utföra, då den kräver en mängd olika underlag och expertis. *Space-for-time*-metoden (McBride & Laćan 2018) är desto mindre omfattande gällande mängden parametrar, och heller inte lika detaljerad i sin analys av de olika parametrarna som *fältstudien* (McPherson et al. 2018). Denna metod genererar således inte heller lika detaljerade och grundligt genomarbetade resultat, men går å andra sidan att genomföra på betydligt kortare tid och kräver inte lika mycket underlag. Detta kan vara något som avgör huruvida en metod är möjlig att genomföra eller inte, då de mer omfattande metoderna kan kräva tillgång till underlag och resurser som eventuellt inte finns att tillgå.

De i huvudsak kvantitativa metoderna som undersökts i denna uppsats har i större utsträckning samlat in information om olika arter på ett globalt plan, för att sedan applicera denna data på en specifik plats klimatsituation. De mer kvalitativa metoderna har istället i huvudsak fokuserat på lokala eller regionala jämförelser och undersökningar. Dessa har sedan i olika utsträckning kombinerats med erfarenhet/professionella utsagor, samt redan framtagen forskning gällande olika trädarters klimattolerans. Den kvalitativa approachen kräver i regel tillgång till mer lokalt producerat underlag och observationer och kan sällan behandla lika många arter, men genererar dock oftare resultat som tar hänsyn till fler klimatparametrar och får på så vis en högre detaljeringsgrad. De mer kvalitativa studierna bygger dock delvis på att det redan utförts kvantitativa studier tidigare, så att det finns ett visst underlag att studera vidare.





03.

RESULTAT

För att kunna utvärdera huruvida det är möjligt och relevant att applicera de studerade arbetsmetoderna ha de kopplats till relevanta insikter från litteraturstudien. I följande kapitel presenteras därmed förutsättningarna för att använda respektive metod i en likartad studie med utgångspunkt i Malmö. Studiernas syfte och metod sätts även i relation till det arbete som redan utförts eller pågår i Malmö i dagsläget, för en bedömning om huruvida det är av relevans för Malmö att en sådan metod används i arbetet med att klimatsäkra det urbana trädbeståndet.

3.1 INNEBÖRDEN AV KLIMATFÖRÄNDRINGARNA FÖR MALMÖS TRÄDBESTÅND

Årsmedeltemperaturen i Malmö spås öka med 4°C fram till år 2100 (jämfört med medelvärdet för perioden 1961-1990), enligt RCP 8.5 (SMHI u.å a). Enligt SMHI:s prognoser innebär detta att årsmedeltemperaturen kommer öka med ungefär 3-3,5°C fram till 2100 jämfört med idag (år 2019). Enbart baserat på de senaste två årens medeltemperatur i Malmö på 10,6°C (Malmö stad 2020b), skulle en generell temperaturhöjning på 3,5°C i Malmö leda till en ökning av årsmedeltemperatur till cirka 14,1°C år 2100. Detta skulle innebära att Malmö hamnar på samma temperaturnivåer som dagens Marseille i södra Frankrike (Climate-data.org u.å a).

Baserat på mätningar under de senaste decennierna går det även att utläsa en trend avseende ett minskande antal frostdagar, samt en trend som visar på ett svagt minskande antal vinterdagar i Malmö. Antalet vinterdagar under 2019 var så få som 6 stycken (Malmö stad 2020b). Meteorologer definierar vinterdagar som dygn med en dygnsmedeltemperatur på 0°C eller lägre. I framtiden, då årsmedeltemperaturen väntas öka, kan de tillfällen då den meteorologiska vintern helt uteblir öka i södra delarna av landet. Enligt RCP8.5 väntas medeltemperaturen under vinterperioden december-februari år 2100 ligga på 4-6°C. För en tydligare jämförelse kan nämnas att Skånes vintermedeltemperatur under referensperioden 1961-1990 låg på -0,6°C (SMHI 2015).

Vissa trädarter kommer påverkas stort av det faktum att vintern i Malmö i framtiden allt oftare helt kommer att utebli. En del arter är i behov av en köldknäpp vintertid för att processer såsom invintring och lövsprickning inte skall hamna i ofas och därmed riskera skador från exempelvis vår-frost (Heide 2003). Avsaknaden av minusgrader vintertid innebär samtidigt att flera helt nya arter med tidigare tveksam härdighet kommer kunna testas i staden (Sjöman 2012). Osäkerheter i prognoser för framtida

nederbördsmonster och det faktum att extrema väderhändelser förutspås bli en vanligare syn i framtiden gör dock att det inte är helt optimalt att utvärdera klimatsituationen för de urbana träden enbart baserat på framtida medeltemperatur (Salmond et al. 2016; Renneberg et al 2006). En anledning är att i kombination med den parallellt alltmer intensifierade effekten av UHI riskerar stadsklimatet nå lokala temperaturnivåer som är svåra att utläsa från dessa mer generella prognoser (Salmond et al. 2016). För många träd i Malmö, framförallt de som står i gatumiljö, kommer den allt högre temperaturen därmed även kunna innebära en ökad risk för torkstress (Teskey et al. 2015; Pretzsch et al. 2017; SMHI 2019a).

3.2 METODERNAS APPLICERBARHET I MALMÖ

I följande stycke utreds möjligheterna och relevansen av de olika forskningsmetoderna utifrån Malmös perspektiv - finns det grund eller motiv nog att arbeta på samma sätt där?

Melbourne och Malmö har ungefär lika stora trädbestånd (Malmö stad 2019c; City of Melbourne 2014), trots en stor skillnad gällande städernas totala area. I mångt och mycket bygger deras huvudsakliga problematik även på gemensamma faktorer. Begränsad artfördelning i kombination med en majoritet av arter som redan idag är dåligt anpassade för de rådande urbana ståndorterna. Städerna har haft problem med sjukdomar och många träd förväntas eventuellt inte leva så långa liv. Båda har dock höga ambitioner när det kommer till att utveckla ett mer resilient trädbestånd för framtiden och ett utav de identifierat största hoten mot Melbournes träd är stigande temperaturer och torka i kombination med ett åldrande trädbestånd, bestående till stor del av en stor andel tveksamt anpassade arter, medförda från Europa under kolonialtiden (Kendal & Baumann 2016). Ett hot som många städer runt om i världen identifierat och också valt att uppmärksamma är risken för ett kraftigt ökat tryck från skadedjur och sjukdomar i samband med ett generellt varmare klimat, framförallt i kombination med en begränsad artdiversitet (Yang 2009; Laćan & McBride 2008).

Ingen utav metoderna är beroende av eller knutna till det lokala klimatet eller temperaturnivåerna även om de utgår ifrån lokal problematik (McBride & Laćan 2018; McPherson et al. 2018; Yang 2009; Kendal & Baumann 2016). Detta gör att samtliga forskningsmetoder rent klimatmässigt är applicerbara på andra städer eller områden. Metoderna är användbara för samtliga städer som står inför liknande klimatproblematik

och som vill kartlägga svagheter och styrkor gällande dess trädbestånd och stadens egen anpassningskapacitet.

I metoden (*space-for-time*) som användes i McBride & Laćans (2018) studie i Kalifornien använde sig forskarna av närliggande städers klimatdata. Förutsatt att det går att identifiera städer vars klimat idag motsvarar Malmös förväntade framtida klimat, samt att tillgänglig och tillräcklig inventeringsdata finns att tillgå i dessa städer, så att deras trädbestånd kan studeras, skulle denna metod gå att applicera på Malmö. För att få fram så korrekta resultat som möjligt, bör dessa städer inte bara överensstäm- ma temperaturmässigt, utan även ha en liknande storlek, bebyggelse- och grönsstruktur, då detta i hög grad kan påverka det lokala urbana klimatet (Salmond et al. 2016; McBride & Laćan 2018).

Fältstudien som bedrivs i Central Valley i Kalifornien (McPherson et al. 2018) påminner till viss del om det arbete med att testa nya arter som redan pågår i Malmö (Jensfelt 2018). Malmö nämner kortfattat i sin Träd- strategi (Malmö Stad 2017b) att arter där erfarenheterna är begränsade skall testas i mindre skala vid nya projekt och återplantering. Forskning- smetoden innehåller dock guidning i form av en utförlig 5-steps-process vid identifiering och utvärdering av aktuella arter som skall studeras, baserat dels på expertutlåtanden och klimatmodeller. Resultat från pågående studie går här inte att föra över på Malmös trädbestånd då klimatet i Kalifornien idag och sannolikt även i framtiden kommer att skilja sig ganska markant från klimatet i Malmö (Climate-data.org u.å d; McBride & Laćan 2018). Även om en del av utmaningarna i de urbana miljöerna kommer vara likartade skulle appliceringen på ett betydligt kallare klimat kräva vissa justeringar i metoden för att den ska vara an- vändbar i ett svenskt klimat. Exempelvis gällande minimitemperaturer, en parameter som inte behandlas i någon större utsträckning i någon av studierna som utförts i Kalifornien (McBride & Laćan 2018; McPherson et al. 2018).

3.2.1 Underlag för möjliggörande av metodapplicering

I de olika studierna har det använts olika data och verktyg för att kun- na genomföra respektive metod och presentera ett resultat. En stor del i att utvärdera möjligheterna att utföra en motsvarande studie i Malmö handlar om att motsvarande förutsättningar och likvärdigt underlag skall finnas tillgängligt. I flera av forskningsmetoderna används globala data- baser gällande till exempel artförekomster, likt GBIF, som erbjuder data från hela världen, men det krävs också mer specifikt och lokalt underlag för att kunna applicera datan på staden i fråga.

En av de viktigaste förutsättningarna för att kunna använda samtliga av forskningsmetoderna är att en lokal trädinventering är gjord, så att det befintliga artbeståndet kan kartläggas. Sårbarhetsstudien (Ordóñez & Duinker 2015) bygger inte nödvändigtvis på en fullständig inventering, dock tas det här fram typer av träd som är extra sårbara inför olika element av klimat-exponeringar, såsom unga träd, gatuträd, träd anpassade för torra respektive våta marker och liknande. På så vis skulle en utförd inventering vara värdefull då information om trädbeståndets innehåll redan finns att tillgå (tabell 3). Metodiken med climate envelopes i studierna från Melbourne (Kendal & Baumann 2016) och Philadelphia (Yang 2009), samt Space-for-time studien i Kalifornien (McBride & Laćan 2018) är däremot beroende av att en trädinventering med utförlig information gällande artfördelning finns tillgänglig att använda som underlag. En sådan finns tillgänglig hos Malmös gatukontor, där samtliga av kommunens träd finns kartlagda, samt dessutom information om individuella träd, såsom planteringsår, till viss del ståndort, samt utmärkande attribut (Malmö stad 2019c). Metoden kräver som tidigare nämnt dessutom att städerna som skall agera som "framtidsskildringar" av Malmö i *space-for-time*-metoden innehar liknande information så att trädbestånden kan jämföras.

För att använda climate envelope-metoden (Kendal & Baumann 2016; Yang 2009) krävs tillgång till lokala klimatdata och projektioner. De lokala klimatmodellerna (RCM) som SMHI arbetat fram tillsammans med IPCC:s utsläppsscenarier skulle högst troligt kunna ligga till grund för detta. Lokala mätstationer finns på flera platser i Malmös omnejd, samt en placerad centralt inne i hamnområdet, som kontinuerligt mäter temperatur, vind och nederbörd (SMHI u.å b). Dessutom behövs för metoden i Kendal & Baumanns (2016) rapport tillgång till global klimat- och art-data, så att nya/potentiella arter kan identifieras genom att undersöka platser med ett klimat motsvarande den lokala framtidsprojektionen. Det dataset som användes i den australiensiska studien vid modellering av arter, BIOCLIM, innehåller global data gällande temperatur från över 24 000 väderstationer världen över. Likvärdiga analyser kan därmed genomföras på andra platser i världen, såsom Malmö (WorldClim u.å). Detta gäller även nätverket som använts för att identifiera artförekomster, GBIF, som innehåller global data, och kan användas i syfte att kartlägga nya potentiella arters naturliga utbredning och habitat. Som del i det globala nätverket finns även en svensk, nationell nod, GBIF-Sweden (GBIF u.å).

En felkälla som identifierats och som kan ses som ett hinder i studier vars syfte är att hitta nya potentiella arter anpassade för klimatet är svårigheten att hitta gångbar information om arter som växer på väldigt otillgängliga platser i världen. Information kan till exempel vara svår att få

fram gällande prydnadsträd som ofta används i stadsmiljö, skriver Yang (2009). Denna bristfälliga kunskap om framförallt exotiska arters naturliga livsmiljö, fysiologiska toleranser, invasivitet och mottaglighet för skadedjur ökar osäkerheten i forskningen. McPherson et al. (2018) efterfrågar därför en global databas över prydnadsträd för att göra sådan information mer lättillgänglig.

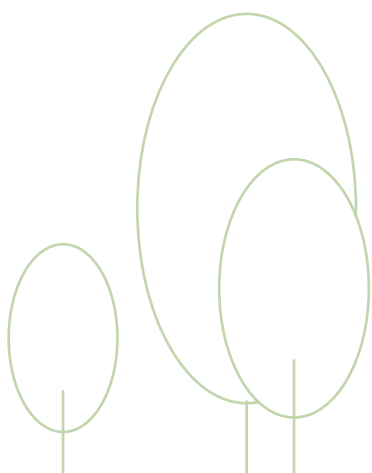
Det som möjliggör studier likt *fältstudien* i Central Valley i Kalifornien (McPherson et al. 2018) samt *sårbarhetsstudien* i Kanada (Ordóñez & Duinker 2015) handlar mer om resurser gällande förvaltning och tillgång till kunskap. Som tidigare nämnt påminner *fältstudien* något om Malmös pågående arbete, och det som krävs för applicering är framförallt ett långsiktigt engagemang samt finansiering under längre tid. Att Malmö satsar stort syns genom deras aktiva arbete med att utveckla sitt trädbestånd samt den mångmiljonsatsning som gjordes tidigare i år (Rosén 2020; Malmö stad 2020b). Därutöver krävs i praktiken tillgång till växtmaterial och personal, samt lämpliga platser att utföra studien på. Utöver de tester som kommunen själva utför av arter på sina marker, görs även studier vid lantbruksuniversitetet i Alnarp (SweCRIS u.å.). Den expertis som både *fältstudien* och *sårbarhetsstudien* (Ordóñez & Duinker 2015) kräver, torde finnas att tillgå dels hos verksamma inom kommunen, samt på Sveriges Lantbruksuniversitet i Alnarp. Med hjälp av och baserat på den nyligen upprättade Trädstrategin (Malmö stad 2017b), Skyfallsplanen (Malmö stad 2017a) och Plan för Malmös Gröna och Blå miljöer (Malmö stad 2019b) samt lokala klimatmodeller och prognoser som tillhandahålls av SMHI (Sjökvist et al. 2015; SMHI 2015) skulle en *sårbarhetsstudie* över trädbeståndet kunna utföras även i Malmö (tabell 3).

I tabell 3 sammanfattas de typer av underlag eller resurser som krävs för att genomföra de olika metoderna. Där markeras även om dessa finns att tillgå i Malmö, enligt den information som framgått i denna uppsats. Uppskattningen angående huruvida Malmö har tillgång till motsvarande resurser utgår även ifrån de satsningar som Malmö gör idag.

Tabell 3: Underlag som krävs för att genomföra/utföra metoderna

Metod → ----- Underlag ↓	Climate envelope (Kendal & Baumann 2016)	Climate envelope (Yang 2009)	Space- for-time (McBride & Laćan 2018)	Fältstudie (McPherson et al. 2018)	Sårbarhets- studie (Ordóñez & Duinker 2015)	Tillgängligt/ möjligt i Malmö
Professionella åsikter			x	x	x	x
Plats och resurser för fysisk undersökning				x		(x)
Styrdokument (grönplan, trädplan etc.)					x	(x)
Tid* (arbete över flera år)				x		?*
Trädinventering	x	x	x	x	(x)	x
Lokala klimatprojektioner	x	x	x	x	x	x

**Då denna aspekt bygger mycket på ekonomi, politik och prioriteringar inom den kommunala verksamheten, kan det bli svårt att helt och hållet hävda att Malmö garanterat har möjlighet att utföra en studie över flera år/längre tid.*



04.

DISKUSSION

Uppsatsens användbarhet och syfte

Genom att sätta sig in i ett ämne och bredda sina kunskaper ökar möjligheten att kunna kritiskt granska aktuella forskningsmetoder och deras resultat. Med hjälp av en bredare förståelse kan eventuella svagheter eller luckor lättare identifieras både gällande underlag, tillvägagångssätt och i eventuella slutsatser. Detta är något som blir extra tydligt vid komplexa ämnen som klimatförändringar. Då handlar det bland annat om att se hur aktuell informationen och datan är som resultat bygger på. Det gäller att inte lita blint på enstaka forskningsresultat, då det i flera fall kan handla om osäkra eller grova antaganden som ligger till grund för slutsatser. Slutsatser som inte nödvändigtvis är felaktiga, men som kanske måste tolkas på ett visst sätt för att inte bli det. Att lära sig förstå vad olika forskningsresultat kan vara bra för och fylla för funktion är en annan viktig insikt. En strävan efter objektivitet och transparens är viktig inom alla arbetsområden. Detta kan vara värdefullt för både det egna förhållningssättet till forskningen, men framförallt kan kritiskt granskande leda till en vidareutveckling av forskningsmetoder, i syfte att förbättra kredibilitet i framtida studier och resultat.

Syftet med undersökningen som utförts i denna uppsats handlar också om att bana väg för att i slutändan kunna utveckla bättre beslutsunderlag, för att på så sätt kunna planera ett hållbart framtida urbant trädbestånd. Uppsatsen är en utvärdering av olika forskningsmetoders praktiska tillämpbarhet, samt användbarhet i arbetet med att klimatanpassa Malmös urbana trädbestånd. Litteraturstudien belyser aspekter och klimatparametrar som kritiskt påverkar trädens resiliens och med detta i ryggen har vi försökt utvärdera de olika metoderna utifrån hur många av dessa aspekter och klimatparametrar de berör, samt på vilket sätt. Genom att samtidigt ställa tillvägagångssätt i förhållande till Malmös förutsättningar och pågående klimatanpassningsarbete har sedan ett antal olika slutsatser dragits rörande metodernas relevans. Uppsatsen har på så sätt kunnat illustrera vad som krävs för att genomföra dessa, samt om och i så fall hur de skulle kunna underlätta för verksamma inom klimatanpassning och planering i Malmö. Både verksamma praktiker men även de som fattar beslut gällande stadsplanering. För att kunna motivera omställningar eller förändrade strategier krävs ett användbart och tydligt underlag, vilket vi försökt lägga en grund för. Dock är detta enbart en start på ett större, mer omfattande arbete med tillämpad forskning som förhoppningsvis skulle kunna leda till bättre beslutsunderlag och därmed en effektivisering inom klimatanpassning framöver. Forskningsmetoderna i de olika studierna utgår från förutsättningar och klimatproblematik som till viss eller stor del återfinns i Malmös nuvarande eller förväntade framtida situation. De innehåller alla avgränsningar och parametrar som kan

komma att innebära för- eller nackdelar, beroende på vilket resultat det är som eftersträvas.

Osäkra klimatprognoser och modeller

Klimat, och inte minst klimatförändringar en otroligt komplex vetenskap och det går inte att med säkerhet säga exakt hur klimatet faktiskt kommer att bli i framtiden. Även IPCC (2013) lyfter problematiken med sina egna klimatmodeller, där varje adderad parameter introducerar nya potentiella felkällor. Därutöver kan dessa klimatmodeller enbart utvärderas gentemot tidigare historiska observationer. De menar dock att kvaliteten på dagens modeller skiljer sig avsevärt från tidigare modeller och att de är baserade på verifierbara fysiska principer i så pass stor utsträckning att de ger en vetenskapligt välgrundad förhandsgranskning av hur klimatet kommer påverkas av olika antropogena utsläppsscenarier (IPCC 2013). Vid sidan av detta råder ändå osäkerheter kring framtida klimatprognoser, som gör att de kan vara riskabla att dra slutsatser utifrån. Detta gäller till exempel om det blir så att det framtida klimatets generella vädermönster inte fullständigt kommer spegla det historiska klimatets generella vädermönster. Framförallt gäller detta de mer extrema väderhändelser som förväntas öka, men är svåra att ge tydliga prognoser över, och som samtidigt troligen kommer ha de mest drastiska konsekvenserna för städernas trädbestånd (Hughes 2003; Salmond et al. 2016; IPCC 2013).

Malmös klimatanpassningsarbete

För Malmös del har klimatförändringarna börjat visat sig under de senaste decennierna genom bland annat värmeböljor och extrema regn. En hel del problematik kopplat till brister och svagheter i det urbana trädbeståndet har under denna period också blivit tydlig, vilket i högsta grad kan ha bidragit till att Malmö idag faktiskt ses som en av de ledande städerna inom klimatanpassning av trädbestånd (Malmö stad 2020c; Sjöman et al. 2012b). Efter den stora förlusten av jätteträd till följd av bland annat almsjukan, fick frågan om hur hållbart stadens trädbestånd faktiskt var, en till synes högre prioriteringsordning. Insikter gällande vikten av en breddad artdiversitet och ett identifierat behov av att identifiera fler, bättre anpassade arter till de urbana miljöerna har gjort att Malmö visat stort intresse för den senaste forskningen inom detta område. Mycket av den forskning som finns på området urbana trädbestånd och klimatanpassning handlar dock mer om vilka klimatfördelar träd kan skänka urbana miljöer, såsom luftrening och hur en utökad krontäckningsgrad kan sänka svalka åt allt varmare urbana miljöer (Ordóñez Barona 2015).

Även om insikten att träd är levande organismer som också påverkas av klimatförändringarna inte tycks vara lika vida spridd som den om deras klimatreglerande egenskaper, tycks den i allra högsta grad alltså ha nått Malmö. Att staden visar ett starkt intresse för att få se fler och nyare studier och forskning inom detta område tyder på att de redan ligger långt fram i hållbarhetstänket.

Att Malmö kommit en bit på vägen vad gäller artdiversitet och mångfald gör att det redan finns ett visst kvantitativt underlag till vidare studier. Det arbete som kvarstår skulle kunna sägas vara att utvärdera arters lämplighet och resiliens. Detta för att återigen förhindra bortfall och ta höjd för hur trädbeståndets framtida tillväxt kan komma att förändras.

Kunskapsluckor och behov av vidare forskning

Genom den här uppsatsens sökande efter information angående hur de urbana miljöerna och klimatförändringarna påverkar träd har en del kunskapsluckor uppdagats. Det visar sig att mycket av den kunskap som idag finns tillgänglig på detta område är ganska generell och onyanserad. Även om det finns en grundläggande insikt i hur vissa arter hanterar olika ståndorter, är det fortfarande mycket som är okänt kring hur olika typer av stress påverkar olika fysiologiska och biologiska processer, samt vilka skillnader som finns i hur olika arter och genotyper inom arten hanterar olika typer av stress (Heide 2003; Teskey et al. 2015). Ett väldigt konkret sätt att ta reda på mer gällande detta är att helt enkelt plantera och testa olika arter och genotyper på plats och sedan utvärdera hur det fungerar, vilket Malmö till viss del redan gjort (Malmö stad 2017b). Emellertid är detta ett resurs-, plats- och tidskrävande arbete och det behövs en hel del förarbete för att komma fram till vilka arter som det finns argument nog för att testa vidare. För att nå fram dit kan det krävas mer övergripande forskning som sedan kan ligga till grund för vidare forskning med högre detaljeringsgrad (Sjöman et al. 2012a). Den ofta mer omfångsrika, övergripande forskningen kan av förklarliga skäl inte generera samma komplexitet i resultatet, såsom de mer småskaliga, utan begränsas ofta till en eller ett par huvudparametrar som sedan får ligga till grund för grovt utkarvade slutsatser (Kendal & Baumann 2016).

Den generaliserade komplexa verkligheten

Något som blivit tydligt genom litteraturstudien är det faktum att det i olika forskningsrapporter finns en benägenhet, men också ett behov av att *generalisera* och dra slutsatser utifrån enbart ett fåtal parametrar,

samt data och information insamlade över hela det komplexa urbana landskapet (Salmond et al. 2016). Många av de metoder som studeras i denna uppsats använder sig till exempel av årsmedeltemperatur som en del i att undersöka klimattoleransen hos olika trädarter. Dessvärre kan detta i fallet med att undersöka klimattolerans hos träd bli missvisande, då det är långt ifrån enbart luftens temperatur som påverkar lokal- och mikroklimat, samt ståndortsförhållanden för vegetation. Aspekter som temperatursumma, strålningstemperatur samt hur vind, omkringliggande byggnader och material påverkar lokala förhållanden spelar oftast in mer när det kommer till trädens hälsa och överlevnad i urbana miljöer (Thorsson et al 2007; Matzarakis et al. 2007). För även om exempelvis medeltemperatur enligt vissa forskare har visat sig vara en god indikator på olika arters *naturliga* distribution (Kendal et al. 2012), blir det potentiellt förrädiskt att använda sig av medeltemperatur för att beskriva ett generellt urbant klimat (Salmond et al. 2016). Den upplevda temperaturen kan skilja sig åt markant mellan olika platser *inom* staden, till följd av skillnader i strålningstemperatur, vilket gör att staden inte borde läsas som *ETT* landskap, med en medeltemperatur, en minimitemperatur och en maximitemperatur. Stadsmiljön är snarare som en väv av flera olika landskap, med en mängd olika upplevda temperaturer. Medeltemperatur för en hel stad kan som indikator därför bli helt missvisande, eftersom det säger ytterst lite om vilka extremer som upplevs på den specifika platsen i fråga (Salmond et al. 2016). Hårdgjorda gatumiljöer skiljer sig kraftigt från parkmark, men även klimatet på en och samma gata kan skilja sig, exempelvis genom att den ena sidan skuggas av bebyggelse under de varmaste timmarna på dygnet, medan den andra sidan inte gör det. Således blir situationen för träden på den solrika sidan gatan inte densamma som för träden på den skuggiga sidan, eftersom de utsätts för olika mängd sol- och värmestrålning och därmed värms upp olika mycket (Deak Sjöman et al. 2015). På samma sätt är det riskabelt att enbart föra över resultaten från en studie i en stad till en annan även om medeltemperaturen under året kan ligga nära varandra.

De forskningsmetoder som har studerats i den här uppsatsen är i mångt och mycket framtagna utifrån likartad grundproblematik. Problematiken kring generellt stigande medeltemperaturer och att detta kan komma att påverka städernas trädbestånd i framtiden har legat till grund för många av studierna. I vissa av studierna är detta den i stort sett ensamt invägda parametern, medan en del av metoderna avhandlar fler klimatparametrar än enbart medel-, min- och max-temperatur (såsom exempelvis årsnederbörd). De metoder som innehåller flera olika parametrar, såsom information gällande vind- och mer platsspecifika klimatparametrar, skulle således kunna anses generera mer autentiska resultat i och med denna utökade detaljeringsgrad. Det kan dock bli problematiskt att förenkla det hela på

detta sätt, eftersom det framförallt handlar om vad det efterfrågade utfallet av studien är, snarare än att en hög komplexitet automatiskt innebär ett bättre resultat. I vissa fall är det mer önskvärt med ett grovt men samtidigt mer övergripande resultat. Många gånger är en fördel med dessa “grova” metoder att en stor mängd data kan bearbetas. Detta eftersom ett färre antal, relativt generella kriterier inte kräver att data utesluts till följd av att de saknar eller innehåller tvivelaktig/opålitlig information om någon av de andra efterfrågade parametrarna (exempelvis nederbörd, vind). Detta grova resultat kan sedan med fördel många gånger användas som grundunderlag vid fortsatt forskning, med högre detaljeringsgrad, för att få fram mer specifika resultat (Sjöman et al. 2012a). Det gäller dock att vara medveten om att resultatet är grovt och sällan bör användas som underlag i praktiken utan vidare bearbetning.

Vissa studier, såsom *climate envelope*-studien från Melbourne (Kendal & Baumann 2016) har haft för avsikt att ge konkreta verktyg, som skall kunna användas vid vidareutvecklingen av stadens trädbestånd. Detta genom att identifiera nya potentiella trädarter och framställa en lista som visar lämplighet eller olämplighet utifrån den framtida klimatsituationen. Metoden begränsades till att omfatta i huvudsak en parameter, temperatur, och då i huvudsak årsmedeltemperatur, men även uppskattad min- och max-temp. Detta då det fanns ett behov av att använda sig av parametrar som kunde ge tydliga generella elimineringskriterier gällande vilka arter som skulle kunna fungera i det framtida klimatet i Melbourne. Resultatet av denna kvantitativa studie kan då räknas som ett “första utkast” av arter, som sedermera behöver utvärderas vidare för att det skall gå att konstatera deras lämplighet fullt ut (Kendal & Baumann 2016). Metoder med så kallade *climate envelopes* skulle därför kunna kompletteras och gynnas av ytterligare kvalitativa studier, innehållande exempelvis ett “professionella åsikter” rörande specifika artens lämplighet, likt de som använts i den kanadensiska sårbarhetsstudien (Ordóñez & Duinker 2015) samt fältstudien och *space-for-time*-metoden i USA (McBride & Laćan 2018; McPherson et al. 2018). Dessa kan ha en betydande roll då erfarenhet och kunskap om lokal klimatproblematik alltid spelar en viktig roll (Ordóñez & Duinker 2014). McBride & Laćan (2018) nämner att detta empiriska inslag innebar att bedömningen av en arts lämplighet ändrades efter expertutlåtanden. De skriver att de professionella åsikterna inte sällan var mer optimistiska gällande lämpligheten än studiens initiala resultat. Detta baserat på deras erfarenhet och framförallt inkludandet av förväntad skötselnivå, främst gällande bevattning. Den metod som egentligen i störst utsträckning täcker av både den “grova”/breda aspekten med generella klimatparametrar såsom medeltemperatur, men även de mer detaljerade, lokalt påverkande parametrarna såsom platsspecifika förutsättningar (mikroklimat, vattentillgång, skötsel etc.) är *fältstudien*

(McPherson et al. 2018). Denna metod innehåller både en kvantitativ granskning av olika datasets, modellering av framtida klimatscenarier och de mer detaljerade aspekterna gällande respons till olika typer av lokal- och mikroklimat. Detta genom att den dessutom innefattar en kvalitativ del, där de framtagna trädarterna observeras i en fältstudie under en längre tid. Det skall dock understrykas att målet med den kvantitativa delen av studien inte var att hitta *helt* nya arter, utan snarare för området ovanliga men planterings-tillgängliga arter som kunde testas vidare. Detta stämmer överens med hur Malmö uttryckte sig i sin trädstrategi. På så sätt skiljer sig *fältstudien* från Kendal & Baumanns (2016) *climate envelope*-studie i Melbourne, vilken skannade av arter från hela världen, oberoende av ifall de fanns att tillgå i plantskolor eller liknande för tillfället.

McBride & Laćans (2018) *space-for-time*-metod innehåller också den både kvantitativa och kvalitativa delar. Dock är denna metod inte lika omfattande, då de kvantitativa delen förvisso innehöll modellering av framtida klimat, men där studerades enbart maxvärden för lufttemperatur under den varmaste månaden. Resultatet skulle därför kunna betraktas som ensidigt och inte lika detaljerat trots att de tagit in kvalitativa åsikter och bedömningar av resultatet från yrkesverksamma och experter.

Lokala aspekter och felkällor

Att som i *space-for-time*-metoden enbart jämföra olika städers befintliga trädbestånd och dra slutsatser utifrån detta kan också innebära att vissa aspekter faller bort. Exempelvis behöver ett begränsat användande eller en specifik arts frånvaro i en stads trädbestånd inte nödvändigtvis vara kopplat till klimattolerans, utan kan ha en mängd andra anledningar. Studien i Kalifornien (*space-for-time*) underlättades av att det fanns ett stort urval av jämförbara städer inom området, vilka är urbaniserade i samma grad och som grundades under ungefär samma period. Just att städerna är av samma storlek och ålder gör jämförelsen av dess trädbestånd desto mer användbar då fler parametrar stämmer överens. Detta är inte alltid fallet i andra delar av världen och skulle därför kunna vara ett hinder vid applicering av metoden på andra platser. Den historiska aspekten, samt dominerande trender, tycke och smak hos ansvariga planerare har stor påverkan gällande det träd- och växtmaterial som använts i städer (Kendal & Baumann 2016; McBride & Laćan 2018). Detta är något som också Sjöman (2012) beskriver som en av anledningarna, i kombination med en ovilja att använda oprövade arter, till att vissa städer idag har ett för monotont trädbestånd. Kendal & Baumann (2016) skriver att Melbournes trädbestånd är starkt präglad av kolonialtiden, under vilken staden an-

lades. De för tiden rådande trenderna gällande stadsplanering och grönstruktur applicerades av de europeiska kolonisatorerna även i Melbourne. Detta skulle kunna innebära att många av de arter som planterades där då, redan från början var på gränsen till för “känsliga” gällande värmen (Kendal & Baumann 2016).

Artdiversitet, sjukdomar och organisation

Även om Malmö redan arbetar med att utöka artdiversiteten, är det dock viktigt att fortsatt vidga vyerna och undersöka nya arter, eftersom risken är att arter försvinner eller behöver ersättas till följd av att de inte längre klarar av klimatet i staden. Även det faktum att stigande temperaturer eventuellt skulle kunna göra att vissa av de befintliga arterna gynnas “för mycket”, likt det nyligen svartlistade gudaträdet, och därför kan komma att behöva sluta användas gör att det finns ett behov av att finna fler potentiella ersättningsarter. Sårbarhetsmetoden som Ordóñez & Duinker (2015) använt i Kanada lägger inget konkret fokus på att studera specifika arter, så om detta är målet i en framtida potentiell studie i Malmö är inte denna metod aktuell. För att däremot se över aktuella styrdokument och skötselprogram i syfte att utveckla arbetet med att klimatanpassa trädbeståndet är metoden användbar. Med tanke på de omfattande planteringarna av kortlivade arter av pil och poppel i mitten av föregående sekel (Malmö stad 2005), krävs rutiner och strategier som kan hantera både dessa stundande bortfall, samt återplantering och beredskap inför oförutsedda väderhändelser eller sjukdomsspridningar. Då Malmö ligger i den sydligaste delen av Sverige, som redan idag har ett varmare klimat än övriga landet, skulle deras arbete kunna vara extremt värdefullt även för resten av landet på sikt.

Den av studierna som i störst utsträckning berör skadedjur och sjukdomar är climate envelope-studien som är utförd i Philadelphia (Yang 2009). Denna problematik är något som även är aktuellt i Malmö (Malmö stad 2017b), där skadedjur och sjukdomar blir allt mer framgångsrika gentemot försvagade individer, såsom träd som redan lider av värme- och torkstress (Laćan & McBride 2008). Det faktum att studien i Philadelphia är utförd för över 10 år sedan bör dock tas i beaktande vid en eventuell applicering på svenska förhållanden. Mycket ny forskning kan ha hunnit genomföras och publicerats på området under de år som förflutit sedan studien utfördes i Philadelphia (Yang 2009), även gällande klimatprognoser. Utöver detta behandlar inte studien faktorer som ekologiska-, organisatoriska-, ekonomiska- och sociala anpassningsförmågor, som till stor grad bidrar till den övergripande sårbarheten i urbana trädbestånd,

menar Ordóñez & Duinker (2014). Så är även fallet i den australiensiska *climate envelope*-studien av Kendal & Baumann (2016). I den kanadensiska sårbarhetsstudien (Ordóñez & Duinker 2015) ombads experterna å andra sidan att utvärdera städernas organisatoriska anpassningsförmågor gentemot klimatförändringarna och dess påverkan på de urbana trädbestånden. *Sårbarhetsstudien i Kanada* (Ordóñez & Duinker 2015) innehöll inga kvantitativa metoder utan fokuserade i huvudsak på sociala faktorer, såsom förvaltning och styrdokument för att avgöra trädbeståndens sårbarhet. Trots att studien medför användbar information så saknas verktyg för att kunna applicera dess resultat i verkliga insatser (Brandt et al. 2016). Detta var någonting som däremot *climate envelope*-studien i Melbourne (Kendal & Baumann 2016) hade som huvudsakligt drivande mål. Resultatet av studien skulle på något vis mynna i ett konkret verktyg, med en direkt praktisk användbarhet (Kendal & Baumann 2016). Vidare krävs mer omfattande studier som kombinerar kvantitativ information med kvalitativa bedömningar, för att kunna förutspå framtida scenarier, för att på ett övertygande sätt kunna förbättra klimatanpassningen av större trädbestånd (Brandt et al. 2016).

SLUTSATS

Sammanfattningsvis visar studien att samtliga av de studerade forskningsmetoderna i någon utsträckning behandlar klimatproblematik, kopplad till urbana trädbestånd, som identifierats som befintlig eller annalkande klimatproblematik även i Malmö. De rapporter i vilka dessa forskningsmetoder används innehåller således i viss mån också resultat och insikter som skulle kunna vara av relevans för vidareutvecklingen av arbetet med klimatanpassning av Malmö urbana trädbestånd.

Beroende på vad målet med studien är kan olika metoder vara motiverade. Om målet är att identifiera helt nya och oanvända arter som har potential att klara sig i ett visst klimat kopplat till parametrar såsom medeltemperatur, för att sedan kunna undersöka dessa arter vidare, kan exempelvis *climate envelope*-metoden (Kendal & Baumann 2016; Yang 2009) vara att föredra. Denna metod kan i sig själv dock anses vara alltför grov för att generera ett tillfredsställande facit över hur arterna kan tänkas prestera i relation till mer regionala- eller lokala klimatparametrar. För att ge ett tydligare svar på det senare är istället en metod såsom *fältstudien* (McPherson et al. 2018) att föredra, där arterna även undersöks för ett antal andra faktorer, samt även utvärderas på plats och över tid. Fältstudier är dock både tids- och resurskrävande och kräver förarbete för att ta fram potentiella arter att testa. Metoden i *sårbarhetsstudien* ger ett bra komplement till samtliga metoder. Detta då det är viktigt med fungerande styrdokument för att klimatanpassningsarbetet ska kunna drivas på ett så effektivt sätt som möjligt, gällande förvaltning och planering.

Baserat på Malmö egna målsättning om att testa nya arter, finns ett behov av att utvärdera arters tolerans, samt det kvantitativa underlaget som finns att tillgå i form av en förhållandevis hög artdiversitet, så skulle metoder som *fältstudien* (McPherson et al. 2018) och *space-for-time* (McBride & Laćan 2018) vara relevanta.

Varken metod eller resultat i de undersökta studierna bör dock kopieras utan vidare modifiering för lokala förutsättningar. Resultat från en studie med påminnande klimat kan givetvis ge en fingervisning om artval och dess tolerans, men kan inte ses som ett facit. Då fler parametrar än generell medeltemperatur och årsnederbörd påverkar förutsättningar för stadens träd och ger lokala skillnader är detta viktigt att ha i åtanke. Likaså kräver samtliga metoder en omarbetning för att ta hänsyn till just detta och kan inte heller kopieras rakt av. Många av forskningsmetoderna kräver dessutom tillgång till en mängd olika typer av data, specialkompe-

tens, utvärdering under en lång tid samt lämplig fältstudieplats, vilket kan komma att bli både kostsamt och ställer höga krav på organisation och fungerande samarbeten mellan flertalet olika aktörer. Att istället inspireras av forskningsmetoderna, genom att plocka ut beståndsdelar eller modifiera dem utifrån Malmös mer specifika behov, skulle därför kunna anses vara ett mer relevant och utvecklande upplägg.

METODDISKUSSION

Mål och syfte

Målet med uppsatsen var att studera olika forskningsmetoder, i relation till vetenskapliga artiklar och litteratur och på så vis ta reda på i vilken utsträckning denna metodik kan vara relevant att använda sig av vid klimatanpassning av Malmös trädbestånd. Genom litteraturstudien kunde vissa potentiella svagheter och styrkor identifieras hos de olika metoderna. I kombination med en analys av vilka förutsättningar och vilket underlag som krävdes för att utföra varje metod, kunde sedan en del slutsatser dras. Emellertid uppstod under arbetets gång både en och sjuttiofem tusen tveksamheter, relaterade till vårt eget val av metod.

Metodval och tillvägagångssätt

Vi valde att först studera olika forskningsmetoder samt klimatparametrar som påverkar urbana träd. Hade vi istället börjat i andra änden, och lagt mer tid på att identifiera den problematik och de behov som finns i Malmö, och sedan tittat på exempel i andra delar av världen, hade vi eventuellt haft ett tydligare fokus och mål gällande de studier vi undersökt. På detta sätt hade resultaten eventuellt också kunnat mynna i tydligare rekommendationer gällande vad den lokala forskningen på Malmös trädbestånd bör fokusera på framöver, för att komplettera den kunskap som redan finns och kan användas eller redan används. Istället försökte vi hitta för- och nackdelar hos forskningsmetoder, utan vidare reflektion över vilken relevans dessa för- och nackdelar eventuellt har för Malmös trädbestånd. Detta har vi istället fått utvärdera i efterhand, med de insikter vi kunde finna i litteraturstudien i kombination med eventuella upptäckter i klimatdatan. En annan infallsvinkel gällande parametern temperatur kunde också ha varit givande. Det faktum att de studier och metoder vi nu valde ut i huvudsak fokuserade på medeltemperatur, kunde med fördel ha kompletterats med studier som använde metoder för att

undersöka lokalt påverkande klimatparametrar, såsom strålningstemperatur eller temperatursummor.

En djupare kontakt med Malmö stad hade kunnat ge ännu mer insikt i hur Malmö arbetar med klimatanpassning och urbana trädbestånd idag, men också vad det är som behöver utvecklas eller vad det finns för svårigheter i arbetet. I ett tidigt skede hade vi kontakt med Larsola Bromell, men det var innan vårt mål hade preciserats helt. Därför blev det av förklarliga skäl heller inte alltför många detaljerade relevanta frågor ställda vid detta tillfälle. Att, som vi sedan i princip helt gjorde, enbart gå på den information som finns att tillgå på hemsidor och i tidningsartiklar det utelämnar de beslut och interna tankar som eventuellt vädras dagligen inom den kommunala verksamheten, men som ännu inte omskrivits.

Avgränsningar

Även i denna uppsats skulle det bli för komplext och tidskrävande att avhandla alla potentiellt påverkande miljö/klimatparametrar och därför valde vi att avgränsa oss till att framförallt studera parametern temperatur. Det är dock viktigt att påpeka vilka potentiella brister och svagheter detta kan komma att innebära i forskningens resultat. Detta speciellt i samband med att rekommendationer för framtida forskning görs, för att understryka vilket komplext ämne klimatanpassning av urbana trädbestånd är. Urbana trädbestånd och klimatförändringar har många fler beståndsdelar och påverkas av väldigt många fler parametrar än vad som kunnat beröras i denna uppsats. Det faktum att enbart kommunalt ägda träd har berörts i denna uppsats, likt i de studier vi undersökt, bör påpekas som ytterligare en aspekt som kan få signifikant betydelse för hur framgångsrik klimatanpassningen blir. Andelen kommunalt ägda grönytor och träd kan variera stort mellan städer, vilket gör att kommunernas makt att styra omställningen mot ett mer hållbart och resilient trädbestånd också kan variera (Ordóñez & Duinker 2015).

Sociala och estetiska aspekter har i denna uppsats enbart berörts ytterst flyktigt. Detta trots att dessa aspekter har stort inflytande på grönsstrukturens närvaro i staden. Därför finns risk att viktiga infallsvinklar har fallit bort. Vi har nämnt hur historiska trender påverkat urbana trädbestånds uppbyggnad, men inte så djupgående angående hur grönsstrukturen kan prägla en stads identitet och upplevelsekänsla och vad förändringar i trädbeståndet kan få för konsekvenser gällande detta (Kendal & Baumann 2016). Detta var dock en avgränsning vi valde att göra, återigen för att det var nödvändigt att banta ner det komplexa ämnesvalet. De sociala,

estetiska och strukturella aspekterna hade kunnat generera stoff för en hel uppsats bara i sig självt. Det hade också blivit en helt annan uppsats om dessa aspekter hade fått ta ett större fokus. Kanske hade det berikat, men kanske hade det snarare bara "spätt ut" uppsatsen och gjort målet och syftet diffust. Som blivande landskapsarkitekter är det dock viktigt för oss alltid ha dessa aspekter i tankarna vid planering av den urbana grönstrukturen.

Reflektioner från arbetsprocessen

Inledningsvis var det svårt för oss att veta var fokus skulle ligga, och vad som var vårt huvudsyfte och mål. Det tog även lång tid att identifiera vad som var relevant att undersöka för att kunna komma fram till resultatet. Vi gjorde under arbetet fler sidospår än nödvändigt i brist på ett tydligt mål och tydliga avgränsningar. Vi visste bara att vi ville studera olika forskningsrapporter och på något sätt utvärdera forskningen i relation till Malmös arbete med att klimatanpassa sitt trädbestånd.

Om syfte, mål och frågeställning preciserats och fastställts tidigare, hade detta antagligen kunnat underlätta arbetsprocessen genom att en tydligare metod kunnat utarbetas tidigare. Istället har nya upptäckter längs vägen skapat arbetet. Till en början lades mycket tid på att studera studien från Melbourne, som länge tog upp större delen av uppsatsen. I efterhand känns det som att det hade varit värdefullt att redan från början fördela tiden mellan den och andra studier bättre, kanske till och med tagit in fler studier för att få ytterligare en bredare bild av hur forskningen ser ut idag.

Allt eftersom landade vi dock i ett bredare förhållningssätt, men var då fortfarande färgade av Melbourne-studien, vilket gjort att den i slutändan har präglat arbetet starkt. Att vi sent i arbetet kom fram till en lite mer tydlig bild av vad det var vi ville komma fram till, ledde till att resultatet inte blev så grundligt och genomarbetat som det annars kanske kunde ha blivit. Vi gjorde mycket arbete och skrev många texter som egentligen inte alls svarade på något som var särskilt kopplat till våra frågeställningar. Detta kan i och för sig vara ett resultat av en personlig tendens hos oss båda, att i brist på en tydlig målbild snöa in på första bästa intressanta ämne och sedan fortsätta, utan att riktigt vara förmögen att avgöra dess relevans för det slutgiltiga målet.

Svårigheten att se vår egen målbild har gjort att strukturen och detaljeringsgraden på olika delar har förändrats under arbetets gång. De tidsramar som satts och de omarbetningar som gjorts, har lett till att tiden för diskussion och reflektion har blivit något lidande. Trots detta ha tidspla-

nen som vi satte upp i början av arbetet i huvudsak fungerat bra, och vi anser ändå att vi hann med uppsatta delmål och deadlines. Det handlade nog snarare om en svårighet att uppskatta hur mycket tid varje enskild del av arbetsprocessen skulle behöva, eftersom vi aldrig tidigare gjort ett sådant omfattande arbete och heller inte riktigt såg framför oss hur det färdiga resultatet skulle se ut.

Vi valde att jobba i par, vilket har påverkat arbetet på fler olika sätt. Vi visste dock att vi fungerade bra ihop, då vi tidigare skrivit vår kandidattuppsats tillsammans och således visste lite om hur vi samarbetar och att vi delar ambitionsnivå. En förutsättning för att arbetet har kunnat genomföras har varit att vi kunnat arbeta parallellt genom Google Docs, där vi arbetat samtidigt i samma dokument, från olika delar av landet. Där kunde vi båda kontinuerligt läsa och bearbeta uppsatsen och på så sätt komma med omedelbar respons på det vi producerat. Samtal över Skype och personliga träffar på plats på Alnarp med våra handledare har dock varit viktiga inslag för att undvika total “uppdelning” och missförstånd i kommunikation. Missförstånd kan alltid inträffa när två personer med olika infallsvinklar är inblandade. Missförstånd i det här sammanhanget har mest berott på att vi varit olika insatta i olika delar av arbetet. Detta är något som vi i slutändan ändå vill hävda har berikat vår gemensamma kunskap. Det delade ansvaret har dessutom lett till minskad personlig stress, vilket har varit det mest positiva!

REFERENSER

- Aitkin, S.N., Wang, T., Yeaman, S. & Chang, T. (2008). Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications*, 1(1): 95-111. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/223465497_Adaptation_migration_or_extirpation_climate_change_outcomes_for_tree_populations [2020-02-03].
- Andersson-Sköld, Y., Thorsson, S., Rayner, D., Lindberg, F., Janhäll, S., Jonsson, A., Moback, U., Bergman, R. & Granberg, M. (2015). An integrated method for assessing climate-related risks and adaptation alternatives in urban areas. *Climate Risk Management*, 7: 31–50. Tillgänglig: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crm.2015.01.003> [2020-01-02].
- Armson, D., Stringer, P., & Ennos, A. (2012). The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(3), 245-255. Tillgänglig: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-016-9473-4> [2020-04-30].
- Ayres, M.P. & Lombardero, M.J. (2000). Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Science of the Total Environment*, 262(3): 263–286.
- Belusic, D., Berg, P., Bozhinova, D., Barring, L., Doescher, R., Eronn, A., Kjellström, E., Klehmet, K., Martins, H., Nilsson, C., Olsson, J., Photiadou, C., Segersson, D. & Strandberg, G. (2019). *Climate Extremes for Sweden*. Tillgänglig: <http://smhi.diva-portal.org/smash/get/diva2:1368107/FULLTEXT01.pdf> [2019-11-25].
- Berglind, M. (2017). *Klimatförändringars inverkan på Sveriges livsmedelsproduktion – en vägledning vid framtagande av regionala livsmedelsstrategier*. Länsstyrelsen Uppsala län (Länsstyrelsens meddelandeserie 2017:06), enheten för samhällsskydd och beredskap. Tillgänglig: <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.44f26481161466409d3821c/1526068083547/06-2017-klimat-livsmedelstrategi.pdf> [2020-03-17].
- Bernes, C. (2016). *En varmare värld: Växthuseffekten och klimatets förändringar*. 3:e uppl. Monitor 23. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Bettencourt, L. M. A. (2016). The Complexity of Cities and the Problem of Urban Design. I boken: *A City is Not a Tree*. 50th Anniversary Edition. Sustainable Press. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/311425838_The_Complexity_of_Cities_and_the_Problem_of_Urban_Design [2019-12-13].
- Blom, F. (2020). Malmös träd håller världsklass - Prisas nu i internationell tävling. *Aftonbladet*, 7 februari. Tillgänglig: <https://www.aftonbladet.se/nyheter/a/8morjw/malmos-trad-haller-varldsklass> [2020-02-17].
- Boland, G.J., Melzer, M.S., Hopkin, A., Higgins, V. & Nassuth, A. (2004). Climate change and plant diseases in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 26(3):335–350. Tillgänglig: <https://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1080/07060660409507151?scroll=top> [2020-03-04].
- Bolund, P. & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29: 293–301. Tillgänglig: http://www.fao.org/uploads/media/Ecosystem_services_in_urban_areas.pdf [2019-12-12].
- Boverket (2019a). Grönska och vatten reglerar temperaturen vid värmeboljor. Tillgänglig: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/teman/ekosystemtjanster/naturen/betydelse/reglerar-temp/> [2020-03-10].
- Boverket (2019b). Parker och grönområden reglerar vatten vid skyfall och översvämning. Tillgänglig: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/teman/ekosys->

temtjänster/naturen/betydelse/reglerar/ [2020-01-03].

Boverket (u.å). *En urbaniserad värld*. Tillgänglig: <https://sverige2025.boverket.se/en-urbaniserad-varld.html> [2019-11-21].

Brandt, L., Derby Lewis, A., Fahey, R., Scott, L., Darling, L. & Swanston, C. (2016). A framework for adapting urban forests to climate change. *Environmental Science and Policy*, 66: 393–402. Tillgänglig: https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/jrnl/2016/nrs_2016_Brandt_001.pdf [2020-03-18].

Breuste, J., Artmann, M., Li, J. & Xie, M. (2015). Special Issue on Green Infrastructure for Urban Sustainability. *Journal of Urban Planning and Development*, 141(3): A2015001. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/profile/Miaomiao_Xie/publication/278665439_Special_Issue_on_Green_Infrastructure_for_Urban_Sustainability/links/570d9fd108aed31341cf7c2e.pdf [2019-12-13].

Brown, D.R. (2010). *Design with microclimate, the secret to comfortable outdoor spaces*. Washington: Island Press. Tillgänglig: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/slub-ebooks/detail.action?docID=3317501#> [2020-04-29].

Butler, C.D. (2018). Climate Change, Health and Existential Risks to Civilization: A Comprehensive Review (1989–2013). *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 15: 2266. Tillgänglig: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6210172/pdf/ijerph-15-02266.pdf> [2019-12-13].

c/o City. (2014). *Urbana ekosystemtjänster: låt naturen göra jobbet*. En sammanfattning av c/o city av Varis Bokalders och Maria Block [Broschyr] Tillgänglig: <https://www.cocity.se/wp-content/uploads/2018/06/urbana-ekosystemtjanster-lat-naturen-gora-jobbet-en-sammanfattning-av-co-city-dec-2014-1.pdf> [2019-11-14].

City of Melbourne (2014). *Urban forest strategy – Making a great city greener 2012-2032*. Tillgänglig: <http://www.melbourne.vic.gov.au/sitecollectiondocuments/urban-forest-strategy.pdf> [2019-12-19].

City of Melbourne (2016). *Urban Forest Visual*. Tillgänglig: <http://melbournurbanforestvisual.com.au/> [2020-01-15].

City of Vancouver (2018). *Urban Forest Strategy: 2018 Update*. Tillgänglig: <https://vancouver.ca/files/cov/urban-forest-strategy.pdf> [2019-12-19].

Climate-data.org (u.å a). *Klimat Marseille*. Tillgänglig: <https://sv.climate-data.org/europa/frankrike/provence-alpes-cote-d-azur/marseille-380/> [2020-02-20].

Climate-data.org (u.å b). *Klimat Kalifornien*. Tillgänglig: <https://sv.climate-data.org/nordamerika/amerikas-foerenta-stater/kalifornien-917/> [2020-02-17].

Craul, P.J. (1999). *Urban soils - Applications and Practices*. John Wiley & Sons, Canada. Tillgänglig: https://books.google.se/books?hl=sv&lr=&id=j2fDedhpJZMC&oi=fnd&pg=PR13&dq=Craul+1999+Urban+soil&ots=dSC_EUSauM&sig=vLj-ikDHEXCX3MzQdMpzNLKK_kE&redir_esc=y#v=onepage&q=Craul%201999%20Urban%20soil&f=false [2020-03-03].

Deak Sjöman, J., Sjöman, H. & Johansson, E. (2015). Staden som växtplats. I: Sjöman, H. & Slagstedt, J. (red). *Träd i urbana landskap*. Lund: studentlitteratur, ss. 231-329.

Foster, J., Lowe, A., Winkelman, S. (2011). *The value of green infrastructures for urban climate adaptation*. Washington, DC: The Center for Clean Air Policy. Tillgänglig: https://savetherain.us/wp-content/uploads/2011/10/Green_Infrastructure_Urban_Climate_Adaptation.pdf [2019-12-17].

GBIF (Global Biodiversity Information Facility) (u.å). *What is GBIF?*. Tillgänglig: <https://www.gbif.org/what-is-gbif> [2020-03-13].

- Grahn, P. & Stigsdotter, U. (2003). Landscape planning and stress. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2(1): 1-18. DOI: 10.1078/1618-8667-00019.
- Grantz, D.A., Garner, J.H.B & Johnson, D.W. (2003). Ecological effects of particulate matter. *Environment International*, 29(2-3): 213-239. Tillgänglig: [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00181-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00181-2) [2019-12-18].
- Hardin, P.J. & Jensen, R. R. (2007). The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperatures: A Terre Haute case study. *Urban Forestry & Urban Greening* 6(2), 63–72. doi:10.1016/j.ufug.2007.01.005.
- Heide, O.M. (2003). High autumn temperature delays spring bud burst in boreal trees, counterbalancing the effect of climatic warming. *Tree Physiology*, 23: 931–936. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1093/treephys/23.13.931> [2020-01-17].
- Hughes, L. (2003). Climate change and Australia: Trends, projections and impacts. *Austral Ecology*, 28: 423–443. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.01300.x> [2020-02-20].
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. Tillgänglig: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf [2020-03-18].
- IVA (Kungliga ingenjörsvetenskapsakademien) (2017). *Den urbana utvecklingens drivkrafter och konsekvenser*. Stockholm. Tillgänglig: <https://www.iva.se/globalassets/info-trycksaker/framtidens-goda-stad/framtidensgodastad-urbanisering.pdf> [2019-12-13].
- Jensfelt, A. (2018). Exotiska träd ska säkra stadens grönska. *Arkitekten*. vol. 6/7 2018, ss. 30-35. Tillgänglig: <https://arkitekten.se/nyheter/exotiska-trad-ska-sakra-stadens-gronska/> [2020-03-18].
- Jordbruksverket (2019). *Långsiktiga effekter av torkan 2018 - och hur jordbruket kan bli mer motståndskraftigt mot extremväder*. (Rapport 2019:13). Tillgänglig: https://www2.jordbruksverket.se/download/18.21625ee16a16bf0cc0eed70/1555396324560/ra19_13.pdf [2020-01-13].
- Keller, J. & Konijnendijk, C. (2012). Short Communication: A comparative analysis of municipal urban tree inventories of selected major cities in North America and Europe. *Arboriculture & Urban forestry*, 38(1): 24-30. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/280562670_Keller_and_Konijnendijk_A_Comparative_Analysis_of_Municipal_Urban_Tree_Inventories_Short_Communication_A_Comparative_Analysis_of_Municipal_Urban_Tree_Inventories_of_Selected_Major_Cities_in_North_Amer [2020-03-18].
- Kendal, D. Williams, N.S.G. & Williams, K.J.H. (2012). A cultivated environment: Exploring the global distribution of plants in gardens, parks and streetscapes. *Urban Ecosystems*, 15(3):1-16. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/225206234_A_cultivated_environment_Exploring_the_global_distribution_of_plants_in_gardens_parks_and_streetscapes [2020-02-20].
- Kendal, D. & Baumann, J. (2016). *The City of Melbourne's Future Urban Forest*. Tillgänglig: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33378.73921> [2019-12-06].
- Klimat- och sårbarhetsutredningen. (2007). *Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter*. Stockholm, Miljödepartementet. (SOU Rapport: 2007:60). Tillgänglig: <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2007/10/sou-200760-/> [2020-03-05].
- Laćan, I., & McBride, J. (2008). Pest Vulnerability Matrix (PVM): A graphic model for assessing the interaction between tree species diversity and urban forest susceptibility to insects and

diseases. *Urban Forestry & Urban Greening*, 7(4), 291–300. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2008.06.002> [2019-12-12].

Levinsson, A., Sæbø, A. & Fransson, A.M. (2014). Influence of nursery production system on water status in transplanted trees. *Scientia Horticulturae*, 178(10): 124-131. Tillgänglig: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.08.0> [2019-12-17].

Malmö stad (2005). *Trädplan för Malmö*. Tillgänglig: <https://malmo.se/download/18.198e132616aa40a135ad75d/1559722034239/Tradplanwebb.pdf> [2020-02-24].

Malmö stad (2017a). *Skyfallsplan för Malmö*. Tillgänglig: https://malmo.se/download/18.95a01bd-15de660cf0d95e3/1503646540675/Skyfallsplanen_antagen_20170301.pdf#search='skyfallsplan' [2020-01-03].

Malmö stad (2017b). *Trädstrategi: Remiss 2017-09-13*. Tillgänglig: http://www.skkf.se/sites/default/files/editorial/tradstrategi_for_malmo_stad_170913_remiss.pdf [2019-12-19].

Malmö stad (2018). *Översiktsplan för Malmö: Planstrategi*. Tillgänglig: <https://malmo.se/Service/Varstad-och-var-omgivning/Stadsplanering-och-strategier/Oversiktsplan-och-strategier/Oversiktsplan-for-Malmo.html> [2020-03-12].

Malmö stad (2019a). *De gröna och blå kvaliteterna ska utvecklas*. Tillgänglig: <http://miljobarometern.malmo.se/miljoprogram/stadsmiljo/grona-och-bla/> [2020-02-04].

Malmö Stad (2019b). *Plan för Malmös gröna och blå miljöer: antagandehandling mars 2019*. Tillgänglig: <https://motenmedborgarportal.malmo.se/welcome-sv/namnder-styrelser/stadsbyggnadsnamnden/mote-2019-03-14/agenda/plan-for-malmos-grona-och-bla-miljoer-antagandehandling-mars-2019pdf-1?downloadMode=open> [2020-03-12].

Malmö stad (2019c). *Antal träd*. Tillgänglig: <http://miljobarometern.malmo.se/miljoprogram/stadsmiljo/grona-och-bla/antal-trad/> [2020-02-04].

Malmö stad (2019d). *Utdrag ur Malmö stads trädatabas i Excel-format*. Mottaget: 2019-11-05.

Malmö stad (2020a). *Malmö stads Miljöprogram*. Tillgänglig: <http://miljobarometern.malmo.se/miljoprogram/> [2020-03-18].

Malmö stad (2020b). *Klimat- och väderstatistik*. Tillgänglig: <http://miljobarometern.malmo.se/klimat/klimat-och-vaderstatistik/> [2020-02-04].

Malmö stad (2020c). *Malmö utnämns till en Tree City of the World*. Tillgänglig: <https://malmo.se/Huvudnyheter/2020-02-07-Malmo-utnamns-till-en-Tree-City-of-the-World.html> [2020-03-10].

Malmö stad (u.å). *Handlingsplan för klimatanpassning, Malmö 2012-2014*. Tillgänglig: <https://www.preventionweb.net/applications/hfa/lgsat/en/image/href/2327> [2020-02-04].

Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2007). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 51(4), 323–334. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/6703204_Modelling_radiation_fluxes_in_simple_and_complex_environments_-_Application_of_the_RayMan_model [2020-04-22].

McBride, J. R. & Laćan, I. (2018). The impact of climate-change induced temperature increases on the suitability of street tree species in California (USA) cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34: 348–356. Tillgänglig: <http://phgsc.com/Galleries/Sep18mtg/McBride.pdf> [2020-01-08].

McMichael, A. J. (2000). The urban environment and health in a world of increasing globalization: issues for developing countries. *Bull World Health Organ*, 78(9): 1117–1126. Tillgänglig: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2560839/pdf/11019460.pdf> [2019-12-13].

- McPherson, E.G., Berry, A.M. & van Doorn, N.S. (2018). Performance testing to identify climate-ready trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29: 28–39.
Tillgänglig: https://www.fs.fed.us/psw/publications/mcpherson/psw_2018_mcpherson001.pdf [2020-01-08].
- Miller, R.W., Hauer, R.J. & Werner, L.P. (2015). *Urban forestry: planning and managing urban greenspaces*. 3 uppl. Long Grove, Illinois: Waveland Press, Inc.
- Morini, E., Touchaei, A.G., Castellani, B., Rossi, F. & Cotana, F. (2016). The Impact of Albedo Increase to Mitigate the Urban Heat Island in Terni (Italy) Using the WRF Model. *Sustainability*, 8 (10), 999. Tillgänglig: <https://doi.org/10.3390/su8100999> [2020-03-17].
- National Research Council (1989). *Biologic Markers of Air-Pollution Stress and Damage in Forests*. Washington, DC: The National Academies Press. Tillgänglig: <https://doi.org/10.17226/1414>. [2019-12-18].
- Naturcentrum AB (2014). *Lavar och luftkvalitet, Blekinge 2013*. Stenungsund: Naturcentrum AB (På uppdrag av Blekinge kustvatten och luftvårdsförbund 2014.) Tillgänglig: <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.1dfa69ad1630328ad7c31348/1526068734686/Slutrapport%20Blekinge2013.pdf> [2019-12-18].
- Naturskyddsföreningen (2017). *Faktablad: Albedo*. Tillgänglig: <https://www.naturskyddsforeningen.se/skola/energifallet/faktablad-albedo> [2020-03-03].
- Naturvårdsverket (2017a). *Analys av kunskapsläget för dagvattenproblematiken*. (Ärendenr: NV-08972-16). Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/regeringsuppdrag/2017/analys-kunskapslaget-dagvattenproblematiken.pdf> [2019-12-13].
- Naturvårdsverket (2017b). *Argument för mer ekosystemtjänster*. Stockholm: Naturvårdsverket. (Rapport 6736). Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6736-6.pdf?pid=19706> [2020-01-07].
- Naturvårdsverket (2019). *Marknära ozon*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftfororeningar/Marknara-ozon/> [2019-12-18].
- Naturvårdsverket (2020). *Klimatanpassning*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Klimat/Klimatanpassning/> [2020-03-18].
- Nationalencyklopedin (u.å a). *Albedo*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/albedo> [2020-03-18].
- Nationalencyklopedin (u.å b). *Habitat*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/habitat> [2020-03-18].
- Nationalencyklopedin (u.å c). *Klimatmodell*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/klimatmodell> [2020-03-18].
- Nationalencyklopedin (u.å d). *Resiliens*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/resiliens> [2020-03-18].
- Nationalencyklopedin (u.å e). *Trofisk nivå*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/trofisk-niv%C3%A5> [2020-03-18].
- Nowak, D. J. (2002). *The effects of urban trees on air quality*. USDA Forest Service. Syracuse, New York. Tillgänglig: https://www.nrs.fs.fed.us/units/urban/local-resources/downloads/Tree_Air_Qual.pdf [2019-12-16].

Ordóñez Barona, C. (2015). Adopting public values and climate change adaptation strategies in urban forest management: A review and analysis of the relevant literature. *Journal of Environmental Management*, 164: 215-221. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.09.004> [2019-12-16].

Ordóñez, C. & Duinker, P.N. (2014). Assessing the vulnerability of urban forests to climate change. *Environmental Reviews*, 22(3): 311-321. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1139/er-2013-0078> [2020-03-18].

Ordóñez, C. & Duinker, P.N. (2015). Climate change vulnerability assessment of the urban forest in three Canadian cities. *Climatic Change*, 131(4): 531-543 Tillgänglig: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-015-1394-2> [2020-03-18].

Persson, A. S. & Smith, H. G. (2014). *Biologisk mångfald i urbana miljöer – Förutsättningar, fördelar och förvaltning*. Lund: Lunds universitet. (Centrum för miljö- och klimatforskning, CEC Syntes Nr 02.). Tillgänglig: <http://lup.lub.lu.se/record/d9a69e3a-93f9-41aa-b5f5-51e255b1ba66> [2020-03-18].

Pijpers-van Esch, M. (2015). *Designing the Urban Microclimate A framework for a design-decision support tool for the dissemination of knowledge on the urban microclimate to the urban design process*. Diss. Delft: Delft University of Technology, Faculty of Architecture and Built Environment, Department of Urbanism, Department of Architectural Engineering + Technology. Tillgänglig: <https://books.bk.tudelft.nl/index.php/press/catalog/view/455/466/313-1> [2020-04-29].

Polly, P.D. & Eronen, J. (2011). Mammal associations in the Pleistocene of Britain: Implications of Ecological Niche Modelling and a Method for Reconstructing Palaeoclimate. *Developments in Quaternary Science*, 14: 279-304. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53597-9.00015-7> [2020-03-19].

Porter, J., Parry, M., & Carter, T. (1991). The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 57(1-3):221-240.

Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E., Dahlhausen, J., Schütze, G., Perkins, D., Rötzer, T., Caldentey, J., Koike, T., van Con, T., Chavanne, A., du Toit, B., Foster, K & Lefer, B. (2017). Climate change accelerates growth of urban trees in metropolises worldwide. *Scientific reports*, 7: 15403. Tillgänglig: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-14831-w.pdf> [2020-02-19].

Raupp, M.J., Cumming, M.J. & Raupp, E.C., (2006). Street tree diversity in eastern North America and its potential for tree loss to exotic borers. *Arboriculture & Urban Forestry*, 32(6):297-304. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/279715620_Street_Tree_Diversity_in_Eastern_North_America_and_Its_Potential_for_Tree_Loss_to_Exotic_Borers [2020-03-18].

Rennenberg, H., Loreto, A., Polle, A., Brilli, F., Fares, S., Beniwal, R.S. & Gessler, A. (2006). Physiological Responses of Forest Trees to Heat and Drought. *Plant Biology*, 8(5): 556-571. Tillgänglig: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/html/10.1055/s-2006-924084> [2020-01-08].

Roseland, M. (2012). *Toward sustainable communities: Solutions for Citizens and Their Governments*. 4 uppl. Gabriola Island, BC.: New Society Publishers.

Rosén, R. (2020). Mångmiljonsatsning på trädplantering i Malmö. *Aftonbladet*, 20 januari. Tillgänglig: <https://www.aftonbladet.se/nyheter/a/EWg2RK/mangmiljonsatsning-pa-tradplantering-i-malmo> [2020-02-04].

Rotherham, I.D. (2016). Issues of water and flooding for trees, woods and forests. *Arboricultural Journal*, 37(4): 200-223. Tillgänglig: <http://dx.doi.org/10.1080/03071375.2015.1137432> [2020-01-03].

- Salmond, J. A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., Dirks, K.M., Heaviside, C., Lim, S., Macintyre, H., McInnes, R. N. & Wheeler B. W. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*, 15(1): 36. Tillgänglig: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-016-0103-6?optIn=false> [2019-12-11].
- Santamour, F.S. (1990). Trees for urban planting: Diversity, uniformity and common sense, *Proceedings of the 7th Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance*, 7: 57-65. Tillgänglig: https://pdfs.semanticscholar.org/26a2/4c5361ce6d6e618a9fa307c4a34a3169e309.pdf?_ga=2.75049238.560631411.1584545289-541677090.1584545289 [2020-03-18].
- Sjökvist, E., Axén Mårtensson, J., Dahné, J., Köplin, N., Björck, E., Nylén, L., Berglöv, G., Tengdelius Brunell, J., Nordborg, D., Hallberg, K., Södling, J. & Berggreen Clausen, S (2015). *Klimatscenarioer för Sverige Bearbetning av RCP-scenarioer för meteorologiska och hydrologiska effektstudier*. (SMHI Rapportserie: Klimatologi 15). Tillgänglig: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.95649!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/Klimatscenarioer_f%C3%B6r_Sverige-v1-Klimatologi_15.pdf [2019-11-28].
- Sjöman, H. (2012). *Trees for Tough Urban Sites: Learning from Nature*. Diss. Alnarp: Sveriges Lantbruksuniversitet. Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/8575/1/Sjöman_h_120201.pdf [2020-03-12].
- Sjöman, H., Gunnarsson, A., Pauleit, S. & Bothmer, R. (2012a). Selection Approach of Urban Trees for Inner-city Environments: Learning from Nature. *Arboriculture & Urban Forestry*, 38(5): 194–204. Tillgänglig: <https://pdfs.semanticscholar.org/babe/00973dc186c7db-98061623c25237aa7169c3.pdf> [2020-02-04].
- Sjöman, H., Östberg, J. & Bühler, O. (2012b). Diversity and distribution of the urban tree population in then major Nordic cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(1):31-39. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.09.004> [2019-11-21].
- Sjöman, H., Slagstedt, J., Wiström, B. & Ericsson T. (2015a). Naturen som förebild. I: Sjöman, H. & Slagstedt, J. (red). *Träd i urbana landskap*. Lund: studentlitteratur, ss. 57-230.
- Sjöman, H., Slagstedt, J. & Lagerström, T. (2015b). Växthantering. I: Sjöman, H. & Slagstedt, J. (red). *Träd i urbana landskap*. Lund: studentlitteratur, ss. 363-420.
- (SKL) Sveriges Kommuner och Landsting (2019). *Klimatförändringarnas lokala effekter, exempel från tre kommuner*. Tillgänglig: <https://webbutik.skl.se/sv/artiklar/klimatforandringarnas-lokala-effekter.html> [2020-01-02].
- SKOGEN.se (u.å). *Genotyp*. Tillgänglig: <https://www.skogen.se/glossary/genotyp> [2020-03-16].
- SMHI (2015). *Framtidsklimat i Skånes län – enligt RCP-scenarioer*. (SMHI Rapportserie: Klimatologi 25). Tillgänglig: https://www.smhi.se/pd/klimat/rcp_scenario/county_analysis/rapporter_karator/12_Skane/Rapport/Framtidsklimat_i_Sk%C3%A5ne_L%C3%A4n_Klimatologi_nr_29.pdf [2020-01-13].
- SMHI (2018a). *Vad är RCP?*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/vagledning-klimatscenarioer/vad-ar-rcp-1.80271> [2019-11-28].
- SMHI (2018b). *Sommaren 2018 - extremt varm och solig*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/arets-vader/sommaren-2018-extremt-varm-och-solig-1.138134> [2020-01-13].
- SMHI (2019a). *Fenologi - naturens återkommande tidsmönster*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/normaler/fenologi-naturens-aterkommande-tidsmonster-1.5189> [2020-03-03].

SMHI (2019b). *Brandrisker idag och i framtiden*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/brandrisker-idag-och-imorgon-1.87501> [2019-12-13].

SMHI (u.å a). *Klimatscenarier*. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier/> [2020-02-04].

SMHI (u.å b). *Senaste observationerna*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/vadret/vadret-i-sverige/observationer#ws=wpt-a,proxy=wpt-a,tab=all,stationid=52350,type=weather,param=all> [2020-03-12].

(SOU) Statens Offentliga Utredningar (2019). *Skogsbränderna sommaren 2018*. Stockholm: Norstedts. (2019:7). Tillgänglig: <https://www.regeringen.se/4906d2/contentassets/8a43cbc3286c4eb-39be8b347ce78da16/skogsbranderna-sommaren-2018-sou-2019-7.pdf> [2020-01-13].

Stendahl, J. (2019). *Klimat: Temperatursumma*. Tillgänglig: <https://www.slu.se/miljoanalys/statistik-och-miljodata/miljodata/webbtjanster-miljoanalys/markinfo/markinfo/standort/klimat/> [2020-04-27].

Sveriges Miljömål (2018). *Miljömålen: Frisk Luft*. Tillgänglig: <http://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/frisk-luft/> [2019-12-17].

SweCRIS (u.å). *Trädetablering i framtida urbana klimat - bestämning av kritiska värden för vattenstress och test av övervakningssystem för sköt*. Tillgänglig: <https://www.swecris.se/betasearch/details/project/201620098Formas> [2020-01-17].

Synonymer.se (u.å). *Sökord: Parameter*. Tillgänglig: <https://www.synonymer.se/sv-syn/parameter> [2020-03-17].

Teskey, R., Wertin, T., Bauweraerts, I., Ameye, M., McGuire, M.A. & Steppe, K. (2015). Responses of tree species to heat waves and extreme heat events. *Plant, Cell and Environment*, 38: 1699–1712. Tillgänglig: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/pce.12417> [2020-01-08].

Thackeray, S., Henrys, P., Hemming, D. et al. (2016). Phenological sensitivity to climate across taxa and trophic levels. *Nature*, 535: 241–245. Nature Publishing Group. doi:10.1038/nature18608.

Thorsson, S., Lindberg, F., Eliasson, I., & Holmer, B. (2007). Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal of Climatology*, 27(14), 1983–1993. Tillgänglig: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.1537> [2020-04-22].

TT (2018). Städernas träd klarar inte värmen. *Svenska Dagbladet*, 2018-07-19. Tillgänglig: <https://www.svd.se/stadernas-trad-klarar-inte-varmen> [2019-12-16].

U.S. Forest Service (u.å). *i-Tree*. Tillgänglig: <https://www.fs.usda.gov/ccrc/tools/i-tree> [2020-01-15].

USGBC (U.S. Green Building Council) (2019). *Impact of Climate Change on Street Trees in California*. Tillgänglig: <https://www.youtube.com/watch?v=YhSy4LnuqQY> [2019-12-09].

United Nations (u.å). *Cities and Pollution contribute to climate change*. Tillgänglig: <https://www.un.org/en/climatechange/cities-pollution.shtml> [2020-02-19].

Visser, M. E. (2016). Phenology: Interactions of climate change and species. *Nature*, 535(7611): 236–237. doi:10.1038/nature18905.

Wiström, B., Östberg, J. & Randrup, T. B. (2016). *Datarapport för SLU:s stora enkät för kommunal skötsel av grönområden och träd*. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet. (Landskapsarkitektur, planering,

förvaltning, Rapportserie: 2016:6). Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/13683/7/wistrom_et_al_160927.pdf [2020-03-18].

WorldClim (u.å) *WorldClim*. Tillgänglig: <https://www.worldclim.org/> [2020-02-18].

Yang, J. (2009). Assessing the Impact of Climate Change on Urban Tree Species Selection: A Case Study in Philadelphia. *Journal of Forestry*, 107(7): 364–372.

Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/233497862_Assessing_the_Impact_of_Climate_Change_on_Urban_Tree_Species_Selection_A_Case_Study_in_Philadelphia [2020-01-18].

Östberg, J., Nilsson, L., Slagstedt, J. & Sjöman, H. (2015). Trädplaner, trädvårdsplaner och trädinventering. I: Sjöman, H. & Slagstedt, J. (red). *Träd i urbana landskap*. Lund: Studentlitteratur.

